

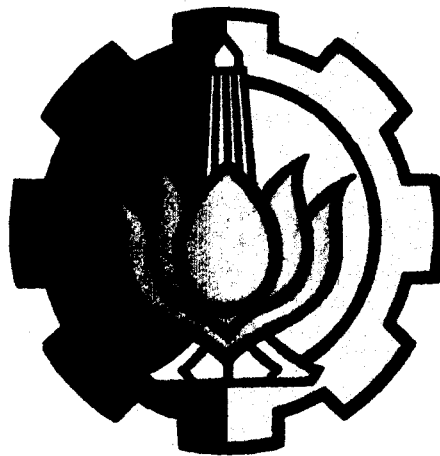
TUGAS AKHIR

TN 1701

5789/MS/H/93. ✓

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	17 APR 1993
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	891/TA

**ANALISA KEBISINGAN  
FAN DAN SALURAN UDARA  
PADA SISTIM VENTILASI KAMAR MESIN  
KM "CARAKA JAYA III"**



FSKe  
621.61  
Pur  
a-1  
1993

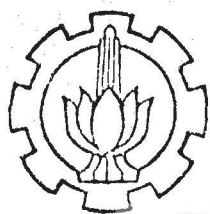
Disusun oleh :

HENDRI PURWANTO

NRP. 4874200166

**JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA**

**1993**



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111 Telp. 597254. & 597274 Pes 262 TELEX. 34224 FAX. 597254, 597845

TUGAS AKHIR (TN.1701)

Nama : HENDRI PURWANTO..... NRP. : 4874200166  
Tahap : SARJANA..... Tahun kuliah : 1992/1993.  
Tgl.diberikan Tugas : ..... Tgl.diselesaikan Tugas : .....

Data-data untuk Tugas :

1. Type Kapal : GENERAL CARGO..... 2. Kecepatan : 14 Knot.....  
3. Radius Pelayaran : SURABAYA - JAYAPURA.....  
4. Data-data lainnya : LOA = 88,70 m... LWL = 84,50 m... LPP = 82,85 m.....  
Bmld = 13,20 m... Hmld = 6,70 m... T = 5,50 m.....  
Cb = 0,72 LETAK KAMAR MESIN DI BELAKANG

JENIS TUGAS :

A. Perencanaan Kamar Mesin/Sistem Perpipaan :

I. Tugas Wajib

1. Sistem pipa kapal (Ship board systems)
  - 1.1. Sistem pipa ballast
  - 1.2. Sistem pipa bilga
  - 1.3. Sistem pipa sanitasi
  - 1.4. Sistem pipa kebakaran
2. Sistem pipa mesin (propulsion systems)
  - 2.1. Sistem pipa bahan bakar
  - 2.2. Sistem pipa pelumas
  - 2.3. Sistem pipa pendingin
  - 2.4. Sistem pipa udara tekanan tinggi
3. Perhitungan daya motor dan gambar tata letak kamar mesin (lay-out)
  - 3.1. Motor induk
  - 3.2. Motor bantu
  - 3.3. Tata letak kamar mesin (lay-out)

II. Tugas Tambahan (pilihlah satu)

1. Sistem pipa khusus :
  - 1.1. ....
2. Gambar Isometric untuk sistem pipa
  - 2.1. SISTEM PIPA BAHAN BAKAR.....

B. Karya Tulis (Skripsi) :

ANALISA KEBISINGAN FAN DAN SALURAN UDARA PADA SISTEM  
VENTILASI KAMAR MESIN KM CARAKA JAYA NIAGA III

Dosen Pembimbing,

Mahasiswa,

Ir. ALIM WIDODO  
NIP. 131474402

HENDRI PURWANTO....  
NRP. 4874200166

Ir. BAMBANG SOEPANGKAT  
NIP. 130355298





Mengetahui dan meyetujui :

Dosen Pembimbing

3-3-93

Ir. ALIM WIDODO  
NIP 131 474 402

## KATA PENGANTAR

Penulis memanjatkan puji syukur Alhamdulillah kepada Allah s.w.t. atas selesainya penyusunan Tugas Akhir ini.

Penyusunan tugas Akhir ini merupakan kurikulum pada Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dan harus dikerjakan oleh setiap mahasiswa untuk persyaratan kelulusan menjadi sarjana.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu dari dua Tugas Akhir yang ada pada kurikulum. Tugas yang kedua berupa Perencanaan Kamar Mesin suatu kapal.

Dengan selesainya Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya, atas segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Ir. Bambang Supangkat, selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal FTK ITS.
2. Bapak Ir. Alim Widodo, selaku Dosen Pembimbing penulis.
3. Bapak Ir. Buyung Farabi, selaku Dosen Wali penulis.
4. Bapak Ir. Andi P, dari PT PAL. Indonesia yang telah memberikan data-data kepada penulis.
5. Bapak Ibuku yang tercinta dan adik-adikku yang tersayang, yang telah memberikan dorongan dan semangat.
6. Rekan-rekan sesama mahasiswa di Jurusan Teknik



## Permesinan Kapal.

7. Dan pihak-pihak lain yang tidak dapat disebut satu persatu.

8. Mengenang sahabatku Sri Hartono Bintarwan.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran maupun kritik, demi kesempurnaan Tugas akhir ini.

Sebagai akhir kata, penulis mohon maaf bila ada yang kurang di dalam penulisan ini.

Surabaya, 6 Februari 1993

Penulis,



HENDRI PURWANTO



## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR NOTASI.....	ix
BAB I : PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang Permasalahan.....	I-1
1.2 Tujuan Penulisan.....	I-2
1.3 Batasan Masalah.....	I-2
1.4 Metode Penulisan.....	I-3
BAB II : TEORI DASAR.....	II-1
2.1 Karakteristik Bunyi.....	II-2
2.1.1 Kecepatan Bunyi.....	II-3
2.1.2 Frekuensi, Periode dan Panjang Gelombang.....	II-4
2.2 Level dan Desibel.....	II-5
2.2.1 Tingkat Daya Bunyi.....	II-5
2.2.2 Tingkat Tekanan Bunyi.....	II-6
2.2.3 Intensitas Bunyi.....	II-6
2.2.4 Penjumlahan dan Pengurangan Desibel.....	II-7
2.3 Sistem Penyebaran Bunyi dan Tingkat Kebisingan.....	II-9
BAB III : KARAKTERISTIK PERALATAN SISTEM SALURAN UDARA.....	III-1
3.1 Fan.....	III-1
3.1.1 Type-type Fan.....	III-2

3.1.2	Karakteristik Kebisingan Fan.....	III-7
3.1.2.1	Kebisingan Frekuensi Blade.....	III-8
3.1.2.2	Data Kebisingan Fan.....	III-8
3.1.3	Tingkat Daya Bunyi Spesifik.....	III-9
3.1.4	Estimasi Kebisingan Fan Dalam Kondisi Operasi Aktual.....	III-9
3.2	Sistem Saluran Udara.....	III-11
3.2.1	Distribusi Daya Bunyi Pada Cabang Saluran Udara.....	III-11
3.2.2	Peredaman Bunyi Oleh Saluran Udara...	III-12
3.2.3	Peredaman Bunyi Oleh Lapisan Isolasi Saluran Udara.....	III-13
3.2.4	Peredaman Bunyi Oleh Elbow Tanpa Lapisan Isolasi.....	III-14
3.2.5	Peredaman Bunyi Oleh Elbow Dengan Lapisan Isolasi.....	III-14
3.2.6	Peredaman Bunyi Oleh Plenum.....	III-15
3.2.7	Kerugian Refleksi Bukan Akhir.....	III-16
3.2.8	Kebisingan Aliran Udara.....	III-17
3.2.9	Aliran Kebisingan Yang Dibangkitkan Silencer.....	III-21
3.2.10	Bunyi Yang Dibangkitkan Oleh Penghalang Dalam Aliran.....	III-22
3.2.10.1	Suatu Batang Dalam Aliran.....	III-23
3.2.10.2	Penghalang Ring.....	III-25
3.2.10.3	Penghalang Strip.....	III-26
3.2.11	Kebisingan Pada Katup Pengatur Aliran.....	III-27

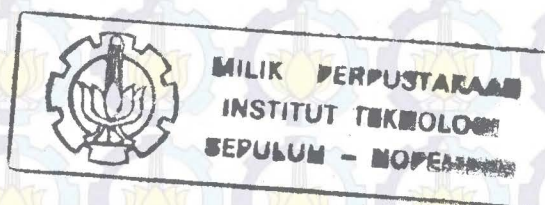


## BAB IV : PERHITUNGAN KEBISINGAN SISTEM VENTILASI

UDARA KAMAR MESIN KM CARAKA JAYA III.....	IV-1
4.1 Data-data Teknis Fan.....	IV-1
4.2 Estimasi Kebisingan Fan.....	IV-1
4.2.1 Tekanan Total.....	IV-2
4.2.2 Perhitungan Kebisingan Fan.....	IV-3
4.3 Perhitungan Kebisingan Dalam Saluran	
Udara.....	IV-5
4.3.1 Kebisingan Saluran Udara Port Side	
Kamar Mesin.....	IV-5
4.3.2 Kebisingan Saluran Udara Star Board	
Kamar Mesin.....	IV-53
BAB V : KESIMPULAN.....	V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Timbulnya gelombang bunyi yang disebabkan adanya getaran panel

Gambar 2.2 Gelombang tekanan bunyi

Gambar 3.1 Diagram vektor aliran udara pada fan centrifugal

Gambar 3.2 Bentuk geometri plenum

Gambar 3.3 Spectrum function (F) untuk elbow  $90^\circ$  penampang segi empat

Gambar 3.4 Spectrum Function (F) untuk elbow  $90^\circ$  penampang segi empat dengan aspek rasio 3 : 1

Gambar 3.5 Spectrum function (F) untuk percabangan  $90^\circ$

Gambar 3.6 Velocity function (G) untuk elbow  $90^\circ$

Gambar 3.7 Velocity function (G) untuk percabangan  $90^\circ$

Gambar 3.8 Penghalang batang dalam aliran

Gambar 3.9 Faktor frekuensi  $\beta$  fungsi kecepatan aliran

Gambar 3.10 Penghalang ring dalam aliran

Gambar 3.11 Penghalang Strip dalam aliran

Gambar 3.12 Katup pengatur aliran

Gambar 3.13 Bilangan Strouhal (St) fungsi dari rasio tekanan

## DAFTAR NOTASI

$c$  : kecepatan bunyi di udara

$C_p$  : panas spesifik pada tekanan konstan

$C_v$  : panas spesifik pada volume konstan

$P_o$  : tekanan udara

$T$  : temperatur absolut

$\lambda$  : panjang gelombang bunyi

$f$  : frekuensi bunyi

$L$  : tingkat energi atau daya bunyi

$E$  : energi atau daya

$E_{ref}$  : energi atau daya referensi

$PWL$  : tingkat daya bunyi

$W$  : daya akustik

$W_{ref}$  : daya akustik referensi

$SPL$  : tingkat tekanan bunyi

$P$  : tekanan bunyi

$P_{ref}$  : tekanan bunyi referensi

$I$  : intensitas bunyi

$\rho$  : massa jenis udara

$IL$  : tingkat intensitas bunyi

$I$  : intensitas bunyi

$I_{ref}$  : intensitas bunyi referensi

$L$  : tingkat kebisingan daerah kerja

$f_n$  : frekuensi blade

$n$  : putaran fan

$N$  : jumlah blade dari fan

$Q$  : laju volume aliran udara



$P_s$  : tekanan statis

$P_v$  : tekanan dinamis

$P_t$  : tekanan total

$S$  : luas penampang dalam saluran udara

$\alpha$  : koefisien absorpsi bunyi dari material

$S_w$  : luas permukaan dinding plenum

$S_e$  : luas keluaran plenum

$d$  : jarak antara entrance dan exit plenum

$L_w$  : tingkat daya bunyi pita oktaf

$F$  : spectrum function

$G$  : velocity function

$H$  : correction function

$St$  : strouhal number

$D$  : diameter saluran udara

$V$  : kecepatan aliran udara rata-rata

$\Delta P$  : pressure drop

$f_p$  : frekuensi puncak

$\dot{m}$  : laju aliran massa udara

$A$  : luas penampang saluran udara

$\gamma$  : gravitasi spesifik udara

$g$  : percepatan gravitasi



## DAFTAR TABEL

Tabel 3-1	Tingkat daya bunyi spesifik berbagai type fan
Tabel 3-2	Pengurangan tingkat daya bunyi pada percabangan
Tabel 3-3	Pengurangan tingkat daya bunyi dalam percabangan
Tabel 3-4	Pengurangan bunyi oleh saluran udara tanpa lapisan isolasi
Tabel 3-5	Pengurangan bunyi pada elbow tanpa isolasi
Tabel 3-6	Pengurangan bunyi pada elbow dengan isolasi
Tabel 3-7	Kerugian refleksi bukaan akhir
Tabel 3-8	Correction function (H)
Tabel 3-9	Koreksi frekuensi tingkat daya bunyi total untuk penghalang batang, ring dan strip
Tabel 3-10	Koreksi frekuensi tingkat daya bunyi untuk katup
Tabel 4-1	Tingkat daya bunyi yang dihasilkan fan
Tabel 4-2	Tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° 1
Tabel 4-3	Tingkat daya bunyi yang dihasilkan percabangan 1
Tabel 4-4	Tingkat daya bunyi yang dihasilkan percabangan 2
Tabel 4-5	Tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° 2
Tabel 4-6	Tingkat daya bunyi yang dihasilkan percabangan 3
Tabel 4-7	Tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° 3
Tabel 4-8	Tingkat daya bunyi yang dihasilkan percabangan 4
Tabel 4-9	Tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° 4
Tabel 4-10	Tingkat daya bunyi yang dihasilkan percabangan 5
Tabel 4-11	Tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° 5
Tabel 4-12	Tingkat daya bunyi yang dihasilkan percabangan 6
Tabel 4-13	Tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° 6

Tabel 4-14 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° 7

Tabel 4-15 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° 8

Tabel 4-16 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan percabangan 7

Tabel 4-17 Perhitungan tingkat daya bunyi pada saluran udara port side kamar mesin

Tabel 4-18 Tingkat daya bunyi keluar dari keluaran saluran udara port side

Tabel 4-19 Tingkat daya bunyi keluar dari keluaran saluran udara star board



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 LATAR BELAKANG PERMASALAHAN

Pernesinan dan peralatan yang bekerja di dalam kamar mesin, terutama mesin induk dan mesin bantu pembangkit listrik, merupakan sumber bunyi. Bunyi berbagai permesinan ini akan menimbulkan kebisingan di dalam kamar mesin, yang akan berpengaruh pada kenyamanan kerja anak buah kapal.

Salah satu mekanisme yang ikut memberikan sumbangan kebisingan adalah fan dan saluran udaranya. Mekanisme fan atau sistem ventilasi ini diperlukan untuk menyuplai udara ke dalam kamar mesin, guna menunjang kerja permesinan seperti mesin induk, mesin bantu, kompresor dan sebagainya. Disamping itu juga memberikan penyegaran udara yang sangat diperlukan bagi anak buah kapal yang bekerja di kamar mesin.

Pengaruh kebisingan dari sistem ventilasi ini, jika dibandingkan dengan kebisingan dari mesin induk dan mesin bantu memang cukup kecil. Akan tetapi secara teknis kita harus tahu bahwa instalasi ini cukup berpengaruh dalam kebisingan. Dan jika beresonansi dengan peralatan-peralatan lain akan mengakibatkan kurang nyamanan.

Maka tingkat kebisingan dari fan dan saluran udaranya, yang pada prinsipnya ditimbulkan oleh aliran udara di dalamnya, perlu dianalisa dan diketahui seberapa besarnya. Di sisi lain perlu pula dianalisa karakteristik kebisingan dari peralatan-peralatan dalam saluran udara



Pada tugas akhir ini penulis mencoba menganalisa kebisingan fan dan saluran udara, dalam sistem ventilasi untuk kamar mesin KM CARAKA JAYA NIAGA III.

## 1.2 . TUJUAN PENULISAN

Dari latar belakang permasalahan yang diuraikan di muka tujuan penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui tingkat daya bunyi dari peralatan fan..
- 2 Untuk mengetahui karakteristik kebisingan peralatan-peralatan saluran udara ventilasi, akibat aliran udara di dalamnya.
3. Untuk mengetahui tingkat daya bunyi tiap-tiap saluran keluaran udara pada sistem ventilasi kamar mesin.

## 1.3 BATASAN MASALAH

Beberapa batasan masalah yang diambil untuk menghindari meluasnya permasalahan yaitu :

1. Tidak membahas tingkat kebisingan keseluruhan di kamar mesin, akibat bekerjanya mesin induk dan mesin bantu.
- 2 Tidak membahas tingkat tekanan bunyi di dalam ruang fan.
3. Tidak membahas bunyi yang ditransmisikan melalui dinding, lantai dan atap kamar mesin.
4. Tidak membahas bunyi yang ditransmisikan dinding

saluran udara.

5. Tidak membahas cara meredam bunyi pada sistem ventilasi udara di kamar mesin.

#### 1.4 METODE PENULISAN

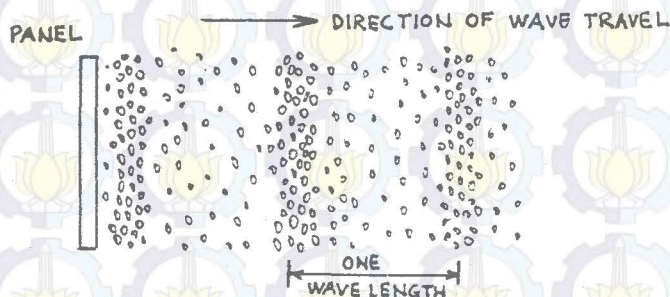
1. Studi literatur baik handbook, diktat kuliah, brosur dan sebagainya untuk mendapatkan teori.
2. Mencari informasi di lapangan untuk mendapatkan data-data teknis yang diperlukan.



## BAB II TEORI DASAR

Bunyi merupakan gelombang longitudinal yang merambat melalui medium padat, cair atau gas. Dalam industri umumnya bunyi ini dapat ditimbulkan oleh beberapa hal, misalnya : adanya getaran yang berasal dari bagian mesin, adanya percampuran turbulensi udara yang bergerak cepat terhadap udara yang bergerak lambat, dan adanya aliran udara yang melalui celah. Dari bermacam-macam sumber bunyi yang telah disebutkan di atas, maka sumber bunyi yang disebabkan oleh getaran adalah yang paling banyak dijumpai di lapangan.

Untuk menjelaskan mekanisme timbulnya bunyi di udara yang disebabkan adanya getaran suatu permukaan atau panel dapat kita perhatikan gambar di bawah.<sup>1</sup>



Gb. 2.1 Timbulnya gelombang bunyi yang disebabkan adanya getaran panel

Adanya gerakan panel ke arah kanan akan mendorong partikel-partikel udara bergerak ke arah kanan pula,

<sup>1</sup> Handbook of Industrial Noise Control, L. L. Faulkner

partikel-partikel yang tertekan ini akan menumbuk partikel di sebelahnya untuk bergerak, sehingga terjadilah bidang penampatan udara. Setelah getaran panel mencapai pergeseran maksimum, maka panel akan bergerak ke arah kiri yang diikuti oleh partikel di sebelahnya, sehingga terjadi bidang peregangannya udara. Gerakan bolak balik panel inilah yang dapat menimbulkan gelombang bunyi di udara.

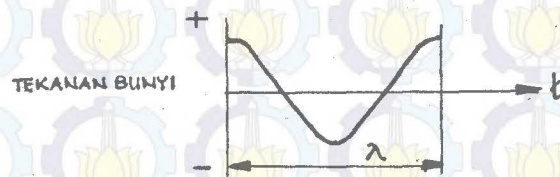
Suatu bentuk bunyi terutama yang dapat mengganggu dan tidak kita inginkan, disebut dengan kebisingan atau noise. Sedang dalam suatu power station ( di kamar mesin ), salah satu mekanisme yaitu sistem saluran udara yang terdiri dari fan, saluran udara dan peralatan lainnya, yang berfungsi untuk mengalirkan udara ke kamar mesin, ikut menyebabkan terjadinya suatu kebisingan. Disamping peralatan lain seperti motor induk dan motor bantu, yang merupakan sumber kebisingan utama di kamar mesin.

Karena kebisingan pada sistem saluran udara ini merupakan suatu hal yang dapat kita temui, maka penanganan akan masalah timbulnya kebisingan pada sistem ini perlu mendapat perhatian.

## 2.1 KARAKTERISTIK BUNYI

Bunyi mempunyai beberapa karakteristik, yang dengan mudah dapat dijelaskan bila kita perhatikan sebuah nada murni berupa gelombang tekanan sinusoidal dengan amplitudo dan frekuensi yang spesifik, yang dirambatkan dengan kecepatan tertentu seperti pada gambar di bawah.





Gb. 2.2 Gelombang tekanan bunyi

### 2.1.1 Kecepatan Bunyi

Seperti dijelaskan di muka, mekanisme timbulnya bunyi disebabkan oleh adanya suatu getaran panel, bidang penampatan atau peregangannya udara akan teradiasi keluar. Kecepatan teradiasi tersebut yang kemudian disebut kecepatan bunyi di udara, yang diberikan oleh hubungan :

$$c = \frac{\gamma P_o}{\rho} \quad (2.1)$$

Dimana :  $c$  = kecepatan bunyi di udara

$$\gamma = C_p / C_v$$

$C_p$  = panas spesifik pada tekanan konstan

$C_v$  = panas spesifik pada volume konstan

$P_o$  = tekanan udara

$\rho$  = massa jenis udara

Harga  $\gamma$  untuk udara biasanya digunakan 1,4 sehingga persamaan ( 2.1 ) menjadi :

$$c = \sqrt{\frac{1,4 P_o}{\rho}} \quad (2.2)$$

Bila udara dianggap sebagai gas ideal persamaan (2.2) dapat ditulis :

$$c = 20,05 \sqrt{T} \quad (2.3)$$

Dengan  $T$  = temperatur dalam derajat Kelvin

### 2.1.2 Frekuensi, Periode dan Panjang gelombang

Konsep frekuensi yang telah kita jumpai dalam mekanika getaran dapat juga digunakan untuk menjelaskan pengertian frekuensi dan periode pada persoalan bunyi, demikian juga hubungan frekuensi dan periode.

Range frekuensi normal bagi pendengaran manusia adalah 20 - 16.000 Hz, dengan sensitivitas maksimum 3.000 Hz.

Hubungan antara panjang gelombang dan frekuensi adalah

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.4)$$

Dimana :  $\lambda$  = panjang gelombang bunyi

$c$  = kecepatan bunyi

$f$  = frekuensi bunyi

Dengan mengetahui frekuensi yang sekaligus periode, ada beberapa hal yang dapat diperoleh, misalnya : karena bunyi berasal dari suatu getaran, maka frekuensi getaran dapat ditentukan dari frekuensi bunyi yang diradiasikan. Misalnya suatu getaran dengan frekuensi 600 rpm (10 Hz) akan meradiasikan bunyi dengan frekuensi 10 Hz pula.

### 2.2 LEVEL DAN DESIBEL

Desibel adalah skala matematis yang menggunakan skala logaritma dan merupakan 10 kali logaritma dengan bilangan pokok sepuluh dari perbandingan daya atau energi terhadap suatu besaran referensi tertentu. Disamping digunakan pada bidang akustik, besaran desibel ini banyak digunakan juga pada listrik dan mekanika.

Persamaan dasar desibel ditukiskan dengan :



$$L = 10 \log \frac{E}{E_{\text{ref}}} \quad (2.5)$$

Dimana : L = tingkat energi atau tingkat daya bunyi

E = energi atau daya

E ref = energi atau daya referensi

### 2.2.1 Tingkat Daya Bunyi ( Sound Power Level )

Tingkat daya bunyi adalah ukuran daya total yang diradiasikan oleh sumber bunyi ke segala arah, dan biasanya merupakan fungsi frekuensi. Hubungan antara tingkat daya bunyi dan daya akustik dinyatakan dengan :

$$\text{PWL} = 10 \log \frac{W}{W_{\text{ref}}} \quad (2.6)$$

Dimana :

PWL = tingkat daya bunyi

W = daya akustik

W ref = daya akustik referensi,  $10^{-12}$  Watt

Sehingga PWL dapat dinyatakan sebagai :

$$\text{PWL} = 10 \log W + 120 \text{ dB} \quad (2.7)$$

### 2.2.2 Tingkat Tekanan Bunyi ( Sound Pressure Level )

Tingkat tekanan bunyi tergantung dari jarak pengukurannya dari sumber bunyi di ruangan. Tingkat tekanan bunyi biasanya dinyatakan juga dalam desibel, karena tekanan kuadrat sebanding dengan daya, maka tingkat tekanan bunyi dinyatakan dengan :

$$\text{SPL} = 10 \log \frac{P^2}{(P_{\text{ref}})^2} \quad (2.8)$$

Dimana :

SPL = tingkat tekanan bunyi

P = tekanan bunyi

P ref = tekanan bunyi referensi =  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$   
 $= 0,0002 \mu \text{ bar}$

### 2.2.3 Intensitas Bunyi ( Sound Intensity )

Untuk menyatakan suatu intensitas bunyi pada arah rambat gelombang, sebagai karakteristik lain yang menentukan sifat bunyi. Maka dapat didefinisikan bahwa intensitas bunyi adalah harga rata-rata tekanan bunyi yang dirambatkan per satuan luas, per satuan waktu.

Untuk gelombang bunyi dengan arah rambat datar dan spheris (melingkar) persamaannya dinyatakan sebagai berikut:

$$I = \frac{P^2}{\rho c} \quad (2.9)$$

Dimana :

I = intensitas bunyi ( $\text{Watt/m}^2$ )

P = tekanan bunyi ( $\text{N/m}^2$ )

$\rho$  = massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ )

c = kecepatan bunyi di udara ( $\text{m/sec}$ )

$\rho c = 406 \text{ Nsec/m}^3$  pada suhu  $22^\circ \text{ C}$  dan tekanan atmosfer  $1,18 \text{ kg/m}^3$

Sedangkan untuk menyatakan Tingkat Intensitas Bunyi (Intensity Level), dinyatakan dalam suatu tingkatan dan dirumuskan sebagai berikut :

$$IL = 10 \log \frac{I}{I_{\text{ref}}} \quad (2.10)$$



Dimana :

IL = tingkat intensitas bunyi

I = intensitas bunyi

I ref = intensitas referensi =  $10^{-12}$  Watt/m<sup>2</sup>

#### 2.2.4 Penjumlahan dan Pengurangan Desibel SPL

Di dalam penyelesaian masalah kebisingan, biasanya kita dihadapkan pada masalah bagaimana kita menjumlahkan dan mengurangi desibel dari hasil pengukuran atau perhitungan.

Penjumlahan :

Untuk menjelaskan penjumlahan desibel, kita perhatikan beberapa sumber bunyi dengan  $SPL_1, SPL_2, \dots, SPL_i, \dots, SPL_n$

Dari definisi yang telah ada :

$$SPL_i = 10 \log \left[ \frac{P}{P_{ref_i}} \right]^2$$

Sehingga :

$$\left[ \frac{P}{P_{ref_i}} \right]^2 = 10^{SPL_i/10}$$

Jumlah n buah level bunyi :

$$\sum_{i=1}^n \left[ \frac{P}{P_{ref_i}} \right]^2 = \sum_{i=1}^n 10^{SPL_i/10}$$

$$\sum_{i=1}^n \left[ \frac{P}{P_{ref_i}} \right]^2 = 10^{SPL_t/10}$$

$$\log \sum_{i=1}^n \left[ \frac{P}{P_{ref_i}} \right]^2 = \log 10^{SPL_t/10}$$

$$\log \sum_{i=1}^n \left[ \frac{P}{P_{\text{ref}_i}} \right]^2 = \frac{\text{SPL}_t}{10} \log 10$$

$$10 \log \sum_{i=1}^n \left[ \frac{P}{P_{\text{ref}_i}} \right]^2 = \text{SPL}_t$$

$$\text{SPL}_t = 10 \log \sum_{i=1}^n \left[ \frac{P}{P_{\text{ref}_i}} \right]^2 \quad (2.11)$$

Persamaan ( 2.11 ) dapat dituliskan sebagai : <sup>2</sup>

$$\text{SPL}_t = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\text{SPL}_i/10} \quad (2.12)$$

Pengurangan :

Prosedur pengurangan desibel analog dengan penjumlahan desibel, dari :

$$\text{SPL}_t = 10 \log \left[ \frac{P}{P_{\text{ref}_i}} \right]^2$$

atau :

$$\left[ \frac{P}{P_{\text{ref}_i}} \right]^2 = 10^{\text{SPL}_t/10}$$

Bila ada background dengan :

$$\text{SPL}_b = 10 \log \left[ \frac{P}{P_{\text{ref}_b}} \right]^2$$

atau :

<sup>2</sup> Industrial Noise and Vibration control, JD. Irvin



$$\left[ \frac{P}{P_{\text{ref}_t}} \right]^2 = 10^{\text{SPL}_B / 10}$$

Maka dapat dicari SPL dari sumber :

$$\text{SPL}_s = 10 \log \left[ \left[ \frac{P}{P_{\text{ref}_t}} \right]^2 - \left[ \frac{P}{P_{\text{ref}}} \right]^2 \right] \quad (2.13)$$

Dimana :

$\text{SPL}_s$  = tingkat tekanan bunyi sumber

$\text{SPL}_t$  = tingkat tekanan bunyi total

$\text{SPL}_B$  = tingkat tekanan bunyi background

Persamaan (2.13) dapat dituliskan :

$$\text{SPL}_s = 10 \log \left[ 10^{\text{SPL}_t / 10} - 10^{\text{SPL}_B / 10} \right] \quad (2.14)$$

### 2.3 SISTEM PENYEBARAN ENERGI BUNYI DAN TINGKAT KEBISINGAN <sup>3</sup>

Pada prinsipnya bunyi yang kita dengar merupakan suatu perambatan dari sumber bunyi. Sedangkan mekanisme penyebaran dan perambatan energi bunyi dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

#### a. *Structur Borne Noise*

Kebisingan ini dihasilkan oleh perambatan getaran struktur komponen dari suatu sistem. Struktur yang bergetar tersebut akan meradiasikan atau merambatkan energi akustik dalam bentuk gelombang longitudinal. Sumber energi diperoleh dari adanya kerusakan atau tidak seimbangny bagian, serta gerakan bolak-balik suatu sistem.

### *b. Liquid Borne Noise*

Kebisingan ini ditimbulkan oleh adanya perambatan fluktuasi tekanan fluida, sehingga terjadi getaran kolom fluida, pusaran aliran, bunyi aliran dan kavitasi.

### *c. Air Borne Noise*

Kebisingan ini merambat melalui fluktuasi tekanan yang timbul di udara.

Perambatan kebisingan melalui tiga media seperti tersebut di atas akan saling berkaitan. Dimana jika terjadi suatu sistem perambatan bunyi yang bersumber dari fluida misalnya. Maka getaran fluida karena fluktuasi tekanan tersebut dapat menggetarkan struktur yang menyalurkan fluida tersebut dan selanjutnya struktur yang bergetar tersebut akan menggetarkan udara sekelilingnya. Pada saat yang sama udara yang bergetar tersebut akan menggetarkan struktur, selanjutnya struktur menggetarkan kolom fluida. Jadi kebisingan yang terjadi dapat berubah dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain secara berkelanjutan.

Suatu tingkat bunyi yang berasal dari peralatan akan menimbulkan kebisingan, apabila bunyi tersebut mengganggu dan mempengaruhi kondisi seseorang yang berada di sekitar daerah tersebut. Akhirnya akan menyebabkan gangguan fisik maupun mental bagi orang yang bekerja di sekitar peralatan tersebut.



Sedangkan kriteria yang relevan untuk menentukan batas-batas kebisingan sangat tergantung dari type kebisingan, lama kebisingan, dan masing-masing individu.

Adapun tingkat kebisingan yang masih dapat diterima untuk kebisingan terus menerus menurut OSHA (Occupational Safety and Health Act), dapat didekati dengan persamaan :

$$T = \frac{16}{2^{[0,2(L-85)]}} \text{ jam} \quad (2.15)$$

Dimana :

T = batas waktu maksimum yang diijinkan (jam)

L = tingkat kebisingan daerah kerja (dB)

### BAB III

## KARAKTERISTIK PERALATAN SISTEM SALURAN UDARA

Salah satu mekanisme yang berguna untuk mendukung suatu proses kerja di dalam kamar mesin kapal adalah sistem ventilasi udara. Sistem ventilasi udara di kamar mesin ini terdiri dari fan, saluran udara yang mentransmisikan udara dari fan ke tempat-tempat yang diinginkan, dan peralatan lainnya.

Dalam bab ini, akan dibahas tinjauan teknis mengenai karakteristik peralatan-peralatan pada sistem ventilasi di kamar mesin.

Dalam meninjau karakteristik peralatan-peralatan tersebut, diutamakan yang mempengaruhi dan mengganggu kegiatan kerja (sumber kebisingan). Selain itu juga dibahas teori perhitungan untuk mengestimasi tingkat daya bunyi yang dihasilkan oleh peralatan-peralatan tersebut.

### 3.1 FAN

Fan merupakan peralatan utama dalam sistem ventilasi udara, karena fan berfungsi menggerakkan atau memindahkan udara masuk ke dalam kamar mesin melalui saluran udara dan peralatan lainnya.<sup>4</sup>

Di dalam penakaiannya fan mempunyai beberapa persyaratan, antara lain : efisien dalam operasinya, mempunyai harga yang layak, mampu beroperasi pada udara

---

<sup>4</sup> Handbook of Industrial Noise Control, L. L. Faulkner



berdebu, tahan terhadap aberasi, konstruksinya memenuhi persyaratan teknis dan mudah direparasi di lapangan. Setelah persyaratan tersebut di atas dipenuhi, selanjutnya fan dievaluasi dari segi kebisingannya.

Perlu diketahui bahwa setiap fan menghasilkan kebisingan yang besarnya sebanding dengan laju volume aliran udara, tekanan dan type fan.

Type fan yang biasa digunakan dalam sistem ventilasi udara, apabila ditinjau dari konstruksinya dikelompokkan menjadi dua.

### 3.1.1 Type-type fan <sup>5</sup>

Seperti telah disinggung di atas, bahwa fan yang digunakan dalam sistem ventilasi udara dikelompokkan menjadi dua type, yaitu :

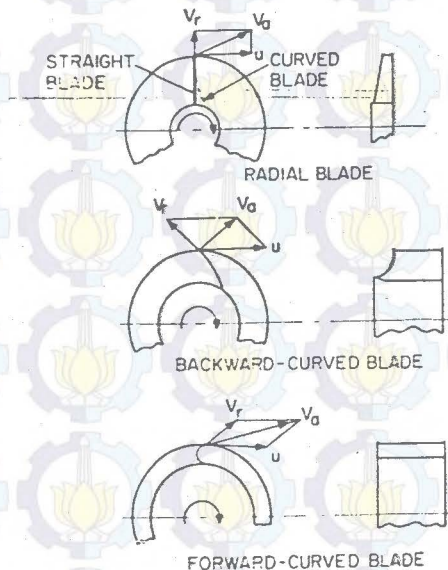
1. Fan centrifugal
2. Fan aliran aksial

#### FAN CENTRIFUGAL :

Fan centrifugal menggerakkan udara dan meningkatkan tekanan karena adanya gerak centrifugal dan kecepatan putar. Gaya centrifugal dihasilkan oleh suatu putaran kolom udara yang terbawa antara daun-daun fan, ini disebut sebagai kecepatan radial ( $V_r$ ). Sedangkan putaran rotor menyebabkan adanya suatu komponen tangensial ( $U$ ). Karena itu udara meninggalkan rotor dengan suatu vektor absolut, yang merupakan resultan vektor radial dan tangensial. Vektor ( $V_a$ )

<sup>5</sup> Handbook of Noise Control, Cyril M. Harris

dapat diatur dengan mengganti bentuk blade fan centrifugal.



Gb. 3.1 Diagram vektor aliran udara pada fan centrifugal

Nilai  $V_a$  yang lebih rendah seperti pada *backward curved fan* adalah suatu karakteristik yang diinginkan, bila ditinjau dari segi efisiensi dan segi kebisingan. Meskipun demikian tidak selalu mungkin untuk menggunakan fan type ini. Tiap-tiap fan mempunyai karakteristik daya dan tekanan yang berbeda-beda, inilah yang menjadi pertimbangan dalam memilih suatu fan.

Fan centrifugal apabila ditinjau menurut bentuk bladenya, dibagi menjadi empat macam yaitu :

#### 1. AIRFOIL

Mempunyai efisiensi yang paling tinggi dari semua desain fan centrifugal, mempunyai 10 sampai 16 blade dengan bentuk airfoil.



Digunakan untuk sistem pemanasan, ventilasi udara dan sistem pengkondisian udara. Dapat digunakan pada sistem dengan tekanan rendah, menengah dan tinggi.

## 2. BACKWARD INCLINED DAN BACKWARD CURVED

Mempunyai efisiensi hanya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan fan airfoil dan mempunyai tingkat daya bunyi yang rendah.

Type fan ini digunakan untuk tujuan sistem pemanasan, ventilasi udara dan sistem pengkondisian udara, dengan tekanan menengah atau tinggi. Fan ini mempunyai blade 8 sampai 16.

## 3. RADIAL

Type fan ini banyak digunakan untuk industri-industri berat. Blade-bladenya dirancang untuk laju aliran udara yang tinggi dan tekanan yang rendah.

Fan radial mempunyai suatu spektrum kebisingan yang mengandung komponen frekuensi blade yang sangat kuat. Jumlah daun fan radial berkisar antara 6 sampai 12.

## 4. FORWARD CURVED

Digunakan terutama untuk sistem pemanasan, ventilasi udara dan sistem pengkondisian udara. Dengan karakteristik laju aliran udara tinggi dan tekanan rendah.

Type fan ini menghasilkan tingkat kebisingan yang tinggi dibanding type backward curved, tetapi komponen frekuensi bladenya rendah. Umumnya mempunyai blade 36 sampai 64.

**FAN ALIRAN AKSIAL :**

Fan aliran aksial memberikan energi ke udara melalui gerak putar rotor. Aliran type vortex tidak menguntungkan terutama bagi efisiensi aliran yang melalui saluran udara. Supaya efisiensi meningkat maka fan memerlukan sudu-sudu penandu (guide vanes), untuk meluruskan aliran udara.

Semua fan aliran aksial mempunyai pitch yang tidak uniform, pitch pada hub adalah lebih besar dibanding pada ujung blade. Apabila fan dioperasikan pada tekanan di atas tekanan perencanaan, aliran udara dekat hub adalah tidak laminar, yang menyebabkan timbulnya kebisingan.

Karakteristik fan aliran aksial ditentukan oleh bentuk blade, rasio diameter hub dan tip, pitch dari blade dan jumlah blade. Misalnya fan dirancang untuk dipakai pada tekanan tinggi akan mempunyai rasio diameter hub dan tip blade yang besar dan jumlah daun juga banyak (hub rasio : 0,6 - 0,8 jumlah daun : 8 - 26). Untuk tekanan rendah mempunyai rasio hub 0,4 - 0,6 dan jumlah daun 2 - 7. Besarnya pitch blade akan berpengaruh pada kapasitas udara, jumlah blade berpengaruh pada tekanan.

Fan aliran aksial menghasilkan tingkat kebisingan yang lebih tinggi daripada fan centrifugal, dan mempunyai komponen frekuensi blade yang besar.

Fan aliran aksial dibedakan menjadi empat macam, yang masing-masing akan diuraikan di bawah.



### 1. VANE AXIAL FANS

Vane axial fan menggunakan sudu-sudu pemandu, karena itu mempunyai efisiensi paling tinggi di antara jenis fan aksial.

Fan type ini dirancang untuk beroperasi pada tekanan kerja yang relatif tinggi. Digunakan dalam sistem pemanasan, ventilasi udara dan sistem pengkondisian udara, dari tekanan rendah, menengah dan tinggi.

### 2. TUBE AXIAL FANS

Tube axial fan adalah type vane axial fan tanpa dilengkapi sudu-sudu pemandu. Efisiensinya adalah lebih rendah dibanding vane axial fan, tetapi harganya lebih murah disebabkan konstruksinya yang sederhana.

Type fan ini dipakai untuk sistem saluran udara dengan tekanan rendah sampai menengah. Umumnya mempunyai rasio hub yang rendah, cocok digunakan untuk keperluan yang memerlukan laju volume aliran udara yang tinggi dengan tekanan yang relatif rendah.

Tube axial fan menghasilkan tingkat kebisingan yang lebih tinggi dibanding vane axial fan dan mempunyai komponen frekuensi blade yang sangat tinggi.

### 3. PROPELLER FANS

Fan propeller biasanya beroperasi dalam panel konfigurasi yang sederhana dan tidak dihubungkan dengan sistem saluran udara. Type ini dimaksudkan untuk diterapkan pada tekanan yang sangat rendah dan dapat menghasilkan laju

volume aliran udara yang tinggi.

Tingkat kebisingannya hanya sedikit lebih tinggi dibanding tube axial fan, tetapi kebisingan ini terjadi pada frekuensi yang rendah, karena itu sukar untuk mengurangi kebisingannya.

#### 4. TUBULAR CENTRIFUGAL

Fan ini biasanya mempunyai suatu rotor yang serupa dengan fan airfoil dan backward, yang diletakkan di dalam suatu housing type aliran aksial. Efisiensinya lebih rendah dibanding fan centrifugal dengan desain rotor yang serupa. Udara dikeluarkan secara radial dari rotor dan harus dirubah arahnya  $90^\circ$  agar mengalir melalui sudu-sudu penandu.

Digunakan dalam sistem pemanas, ventilasi udara dan pengkondisian udara dengan tekanan yang rendah.

##### 3.1.2 Karakteristik Kebisingan Fan

Kebisingan fan biasanya dinyatakan dalam istilah tingkat daya bunyi dalam pita delapan oktaf (eight octave band). Dengan tingkat daya bunyi referensi  $10^{-12}$  Watt dengan frekuensi center : 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 dan 8000 Hz.

Dalam sistem ventilasi, tingkat daya bunyi yang dibangkitkan oleh fan mengakibatkan timbulnya tingkat tekanan bunyi di dalam ruangan fan. Daya bunyi yang diradiasikan fan adalah konstan, tetapi tekanan yang dihasilkan dipengaruhi oleh keadaan sekelilingnya.



### 3.1.2.1 Kebisingan Frekuensi Blade (Blade Frequency Noise)

Setiap saat suatu blade melewati suatu titik, maka udara pada titik tersebut akan menerima suatu impuls. Frekuensi blade melewati titik tersebut biasanya disebut dengan *blade frequency* atau *frekuensi blade*.

Di dalam permasalahan kebisingan fan, masalah utama adalah mendiskritkan komponen frekuensi yang disumbangkan oleh frekuensi blade.

Frekuensi blade dinyatakan dalam bentuk : <sup>6</sup>

$$f_n = n \times N \quad (3.1)$$

Dimana :

$f_n$  = frekuensi blade (Hz)

$n$  = putaran fan (putaran per detik)

$N$  = jumlah blade dari fan

Penambahan frekuensi blade (blade frequency increment : BFI) adalah sejumlah desibel yang harus ditambahkan pada tingkat pita oktaf, dimana frekuensi blade masuk di dalamnya.

### 3.1.2.2 Data Kebisingan Fan (Fan Noise Data)

Dalam tabel di bawah memberikan informasi tingkat daya bunyi spesifik dari berbagai type fan. Data-data tersebut merupakan hasil test fan yang didapatkan dari berbagai sumber dan mewakili fan-fan komersial yang didesain dengan baik.

---

<sup>6</sup> Handbook of Noise Control, Caryl M. Harris

Fan type	Wheel size	Octave-band				center		frequency, Hz		BFI †
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Airfoil or Backward curved or Backward inclined	over 0.75 m	80	80	79	77	76	71	63	55	3
	under 0.75 m	84	86	84	82	81	76	68	60	3
Radial (Modified design)	over 1 m	93	90	88	88	83	78	75	74	5
	under 1 m	96	95	93	93	88	83	80	79	5
Radial (Pressure blowers)	over 1 m	93	87	90	87	85	80	78	77	8
	from 1 m to 0.5 m	103	96	96	93	93	88	86	85	8
	under 0.5 m	111	105	106	98	92	87	86	81	8
Radial (Material handling)	over 1 m	98	94	90	87	83	78	75	74	7
	under 1 m	110	106	100	91	88	85	80	86	7
Forward curve	all	95	91	86	81	76	73	71	68	2
Vaneaxial	over 1 m	87	84	86	87	85	82	80	70	6
	under 1 m	85	87	91	91	91	87	86	80	6
Tubaxial	over 1 m	89	87	91	89	87	85	82	75	7
	under 1 m	88	89	95	94	92	91	85	83	7
Propeller	all	96	93	94	92	90	90	88	86	5
Cooling tower	all	96	99	106	104	103	100	94	88	5

Tabel 3.1 Tingkat daya bunyi spesifik berbagai type fan

### 3.1.3 Tingkat Daya Bunyi Spesifik

Tingkat daya bunyi spesifik adalah tingkat daya bunyi yang dihasilkan oleh fan saat beroperasi pada laju aliran udara  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  (2120 cfm) dan suatu tekanan 1 kPa (4 in Aq)

Tingkat daya bunyi spesifik dapat digunakan untuk mengestimasi tingkat kebisingan fan di bawah kondisi operasi yang aktual dengan suatu prosedur seperti yang akan dijelaskan dalam sub bab di bawah.

### 3.1.4 Estimasi Kebisingan Fan dalam kondisi operasi aktual

Langkah-langkah di dalam mengestimasi kebisingan fan dalam kondisi operasi yang aktual adalah sebagai berikut :



Langkah 1 : Mencari tingkat daya bunyi spesifik dalam pita oktaf, khusus untuk type fan yang telah dipilih daritabel 3.1. Data tingkat daya bunyi dinyatakan dalam desibel referensi 1 picowatt.

Langkah 2 : Mencari tingkat pita oktaf dari langkah pertama untuk kondisi operasi aktual. Hal ini dilakukan dengan menambah tiap-tiap pita oktaf dengan suatu besaran (nilai) seperti dinyatakan dalam persamaan di bawah.

$$10 \log Q + 20 \log P_t \quad \text{dB} \quad (3.2)$$

Dalam satuan Inggris :

$$10 \log Q + 20 \log P_t - 25 \quad \text{dB} \quad (3.3)$$

Dimana :

$Q$  = laju volume aliran udara ( $\text{m}^3/\text{s}$  ; cfm)

$P_t$  = tekanan total (kPa ; in Aq)

Langkah 3 : Menentukan komponen frekuensi blade dari fan dan menambahkan *penambahan blade frekuensi* (BFI) ke dalam pita oktaf pada pita dimana nilai frekuensi blade masuk di dalamnya. Frekuensi blade dihitung dari persamaan (3.1).

Langkah 4 : Jumlah nilai dari tiga langkah di atas menunjukkan tingkat daya bunyi total yang diradiasikan fan baik dari inlet atau outlet. Apabila tingkat daya bunyi yang dicari hanya yang diradiasikan dari inlet atau outlet saja, hal ini didapatkan dengan mengurangi 3 dB dari tiap-tiap pita oktaf.

### 3.2 SISTEM ALIRAN UDARA (AIR FLOW SISTEM) <sup>7</sup>

Di dalam menganalisa tingkat bunyi dalam suatu sistem saluran udara, memerlukan tambahan beberapa analisa akustik. Seperti telah diketahui sumber kebisingan utama dalam sistem ventilasi adalah fan atau blower, dan pada umumnya sistem saluran udara akan cenderung mengurangi tingkat daya bunyi fan. Meskipun demikian ada hal-hal tertentu dimana udara mengalir melalui bengkokan (elbow), damper, percabangan saluran udara, mixing unit, plenum, sound trap dan elemen saluran udara yang lainnya, akan membangkitkan tingkat bunyi yang lebih besar daripada yang dibangkitkan fan. Begitu pula dalam proses aliran udara, aliran udara dengan kecepatan tinggi yang berinteraksi dengan elemen saluran udara dapat menjadi mekanisme yang membangkitkan kebisingan yang tinggi.

#### 3.2.1 Distribusi Daya Bunyi Pada Cabang Saluran Udara

Pada suatu sambungan berbentuk T, atau bentuk percabangan yang lain, daya bunyi merambat dari saluran udara utama ke dalam tiap-tiap elemen saluran udara.

Proporsi daya bunyi yang ditransmisikan dari saluran udara utama ke dalam cabang-cabangnya, bisa diketahui dari perbandingan luas saluran udara di percabangan.

Tingkat bunyi meningkat atau menurun dengan perbandingan logaritmik.

Pengurangan desibel untuk suatu perbandingan luas pada

<sup>7</sup> Handbook of Industrial Noise Control, L. L. Faulkner



percabangan saluran udara dinyatakan dalam tabel di bawah.

Area of continuing duct, in percent, of the total area of all ducts after branch take-off	5	10	15	20	30	40	50	80
Decibels to be subtracted from power level before take-off in order to get power level in continuing duct	13	10	8	7	5	4	3	1

Tabel 3-2 Pengurangan tingkat daya bunyi pada percabangan

Nilai dalam tabel di atas dapat dirubah ke dalam prosentase laju volume aliran udara (cfm) tiap-tiap outlet dari total laju volume aliran udara (cfm) dari fan, seperti dalam tabel berikut

cfm in Percent of Total Fan cfm	1/5	1/2	1	2	5	10	20	50
Decibels to be subtracted from the up-stream sound-power level to get fan sound-power level per outlet	27	23	20	17	13	10	7	3

Tabel 3-3 Pengurangan tingkat dayabunyi dalam percabangan

### 3.2.2 Peredannan Bunyi oleh Saluran Udara

Saluran udara dari sheet metal dindingnya akan menyerap energi bunyi atau mentransmisikan bunyi melalui dinding saluran udara, peredaman bunyi dalam saluran udara dengan atau tanpa isolasi panas adalah 0,03 dB per feet panjang, untuk frekuensi di bawah 1000 Hz dan meningkat sampai 0,1 dB pada 8000 Hz. Besarnya pengurangan bunyi untuk saluran udara persegi empat dapat diketahui dari tabel berikut.

Duct size	Octave-band center frequency		
	125 Hz	250 Hz	500 Hz and higher
Small ducts (15 cm × 15 cm) (6 in. × 6 in.)	0.6 dB/m 0.2 dB/ft	0.45 dB/m 0.15 dB/ft	0.3 dB/m 0.1 dB/ft
Medium ducts (60 cm × 60 cm) (24 in. × 24 in.)	0.6 dB/m 0.2 dB/ft	0.3 dB/m 0.1 dB/ft	0.15 dB/m 0.05 dB/ft
Large ducts (185 cm × 185 cm) (72 in. × 72 in.)	0.3 dB/m 0.1 dB/ft	0.15 dB/m 0.05 dB/ft	0.03 dB/m 0.01 dB/ft
Circular ducts over 30 cm (12 in.)	0	0	0

Tabel 3-4 Peredaman bunyi oleh saluran udara

### 3.2.3 Pengurangan Bunyi oleh Lapisan Isolasi pada Saluran Udara

Lapisan isolasi pada saluran udara berguna untuk isolasi panas dan pengurangan bunyi. Besarnya pengurangan bunyi dapat diperkirakan dari persamaan (3.4).

$$\text{Pengurangan bunyi oleh lapisan isolasi} = 12,6 L \alpha^{1,4} \left[ \frac{P}{S} \right] \text{ dB}$$

Dimana :

$L$  = panjang saluran udara (feet)

$P$  = keliling bagian dalam saluran udara (in)

$S$  = luas penampang bagian dalam saluran udara ( $\text{in}^2$ )

$\alpha$  = koefisien absorpsi bunyi dari material

Batasan-batasan pemakaian persamaan (3.4) :

1. Ukuran saluran udara tidak lebih dari 18 in dan tidak kurang dari 6 in.
2. Perbandingan lebar dan tinggi saluran udara tidak lebih dari 2/1.
3. Kecepatan aliran udara tidak lebih dari 4000 fpm.
4. Koefisien absorpsi bunyi ( $\alpha$ ) mewakili untuk semua



pita oktaf.

### 3.2.4 Pengurangan Bunyi oleh Elbow tanpa Lapisan Isolasi <sup>8</sup>

Belokan atau elbow akan merefleksikan sejumlah bunyi kembali menuju sumber bunyi, akibatnya terjadi pengurangan bunyi di dalam saluran udara.

Besarnya pengurangan bunyi untuk berbagai ukuran saluran udara diberikan dalam tabel 3-5.

Elbow diameter or dimension*	Octave-band center frequency, Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
15 cm to 30 cm (6 in. to 12 in.):								
Square elbow, no turning vanes	0	0	1	4	6	6	4	3
Square elbow, with turning vanes	0	0	0	2	3	4	3	3
Circular elbow	0	0	0	0	1	2	3	3
30 cm to 60 cm (12 in. to 24 in.):								
Square elbow, no turning vanes	0	0	4	6	6	4	3	3
Square elbow, with turning vanes	0	0	2	3	4	3	3	3
Circular elbow	0	0	0	1	2	3	3	3
60 cm to 120 cm (24 in. to 48 in.):								
Square elbow, no turning vanes	1	3	7	6	4	3	3	3
Square elbow, with turning vanes	0	1	4	4	3	3	3	3
Circular elbow	0	0	1	2	3	3	3	3

\*Duct width in the plane of the turn.

Tabel 3-5 Pengurangan bunyi pada elbow tanpa isolasi

### 3.2.5 Peredaman Bunyi oleh Elbow dengan Lapisan Isolasi

Besarnya pengurangan bunyi untuk elbow persegi empat dengan lapisan isolasi diberikan dalam tabel 3.6. Dari tabel ini diketahui bahwa adanya lapisan isolasi pada elbow akan

<sup>8</sup> Handbook of Noise Control, Caryl M. Harris

meningkatkan besarnya pengurangan bunyi.

Duct width†	Frequency, Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
15 cm (6 in.)	0	0	0	1	7	12	14	16
30 cm (12 in.)	0	0	1	7	12	14	16	18
60 cm (24 in.)	0	1	7	12	14	16	18	18
120 cm (48 in.)	1	7	13	15	16	18	18	18

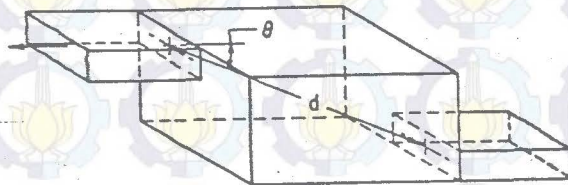
\*For a lining thickness of 2.54 cm (1 in.) extending at least two duct widths on either side of the elbow.

†Duct width is in the plane of the turn.

Tabel 3-6 Pengurangan bunyi pada elbow dengan isolasi

### 3.2.6 Peredaman Bunyi oleh Plenum

Apabila diperlukan suatu pengurangan bunyi yang besar, maka suatu plenum penyerap bunyi digunakan. Bentuk geometri suatu plenum penyerap bunyi adalah seperti pada gambar di bawah.



Gb 3.2 Bentuk geometri plenum

Besarnya pengurangan bunyi dari suatu plenum dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$\text{Plenum attenuation} = 10 \log \left[ \frac{1}{S_E \left( \frac{\cos \theta}{2\pi d^2} - \frac{1-\alpha}{\alpha S_V} \right)} \right] \text{ dB} \quad (3.5)$$

Dimana :

$\alpha$  = koefisien absorpsi bunyi dari material

$S_E$  = luas keluaran (exit) plenum (feet<sup>2</sup>)

$S_V$  = luas permukaan dinding plenum (feet<sup>2</sup>)



$d$  = jarak antara entrance dan exit (feet)

$\theta$  = sudut antara garis  $d$  dengan suatu garis normal pada entrance.

### 3.2.7 Kerugian Refleksi Bukaan Akhir (Open End Reflection Loss)

Ekspansi tiba-tiba dari fluida pada bukaan akhir (open end) dari suatu saluran udara ke dalam suatu ruangan, akan menyebabkan sejumlah bunyi yang melintasi saluran udara akan kembali ke dalam sistem. Karena fenomena ini maka hanya sebagian energi bunyi yang diradiasikan dari suatu bukaan saluran udara.

Efek ini terjadi pada frekuensi rendah tetapi diabaikan pada frekuensi tinggi. Dalam analisa sistem saluran udara, hal ini dapat dinyatakan sebagai suatu kerugian refleksi bukaan akhir, diberikan sebagai fungsi dari saluran udara dan frekuensi. Besarnya kerugian refleksi bukaan akhir (open end reflection loss).

Duct Dia, inches	Duct Size, sq in.	Octave-Band Center Frequency, Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
		Reflection Loss, dB							
5	25	17	12	8	4	1	0	0	0
10	100	12	8	4	1	0	0	0	0
20	400	8	4	1	0	0	0	0	0
40	1600	4	1	0	0	0	0	0	0
80	6400	1	0	0	0	0	0	0	0

\*Applies to ducts terminating flush with wall or ceiling and several duct diameters from other room surfaces. If closer to other surfaces, use entry for next larger duct.

†Reprinted by permission from ASHRAE Guide and Data Book, 1973, Table 20.

Tabel 3-7 Kerugian refleksi bukaan akhir

### 3.2.8 Kebisingan Aliran Udara <sup>9</sup>

Fan adalah sumber kebisingan utama dalam sistem saluran udara, tetapi aliran udara yang melintasi elemen-elemen tertentu dalam sistem juga perlu diperhatikan dalam hal sumber penyebab kebisingan.

Turbulensi aliran udara terutama dalam kasus pemisahan aliran akan membangkitkan daya bunyi di dalam sistem. Suatu estimasi untuk mendapatkan besar pembangkitan daya bunyi dari elemen-elemen sistem, dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$L_v = F + G + H \quad \text{dB} \quad (3.7)$$

Dimana :

$L_v$  = tingkat daya bunyi pita oktaf, dengan desibel referensi  $10^{-12}$  Watt

$F$  = *spectrum function* ditentukan dari karakteristik aliran (dB)

$G$  = *velocity function* yang ditetapkan untuk kecepatan aliran yang melalui elemen saluran udara (dB)

$H$  = *correction function* untuk pita oktaf yang dipertimbangkan

Nilai *spectrum function* ( $F$ ), ditentukan dari parameter aliran tanpa dimensi yang disebut *Strouhal Number* dinyatakan dengan :

<sup>9</sup> Handbook of Industrial Noise Control, L. L. Faulkner





$$St = \frac{5 f D}{V} \quad (3.8)$$

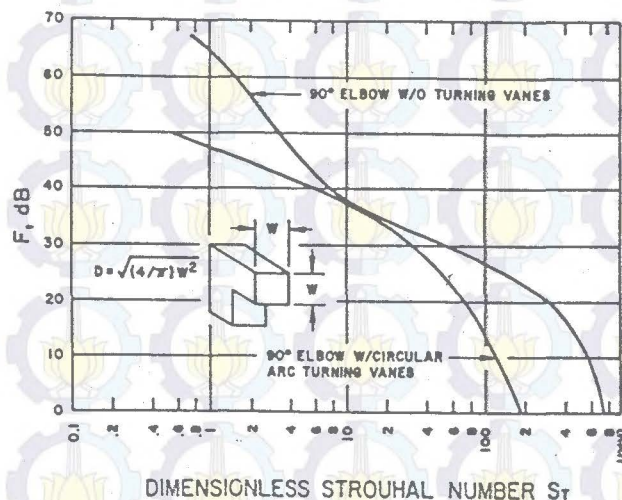
Dimana :

$f$  = frekuensi center pita oktaf (Hz)

$D$  = diameter saluran udara (in) atau untuk saluran udara persegi empat  $D = \sqrt{(4/\pi)(\text{luas})}$

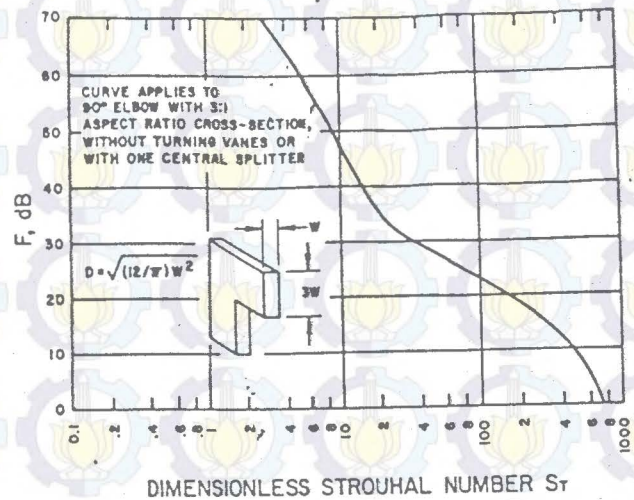
$V$  = kecepatan aliran udara rata-rata dalam saluran udara (ft/min)

Nilai spectrum function (F) dalam persamaan (3.7) dapat ditentukan untuk elbow dan percabangan dari gambar 3.3, 3.4, 3.5. Dalam semua gambar tersebut, bilangan Strouhal ( $St$ ) dihitung dengan persamaan (3.8) untuk dimasukkan dalam gambar.

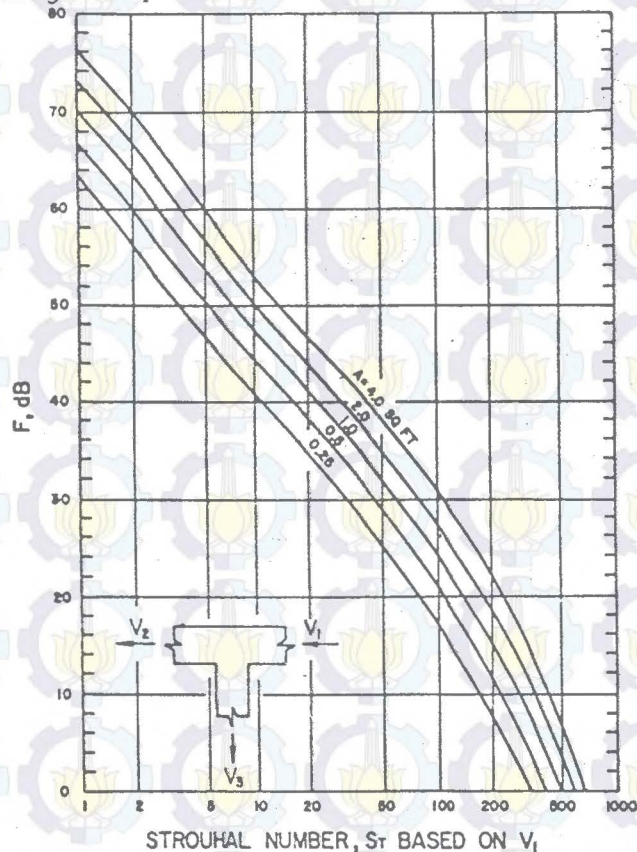


Gb. 3.3 Spectrum function (F) untuk elbow 90° penampang segi empat

Nilai dari velocity function (G) dapat ditentukan dari gambar 3.6 dan 3.7, untuk elbow dan cabang sebagai suatu fungsi dari kecepatan aliran rata-rata dalam elemen saluran udara.



Gb. 3.4 Spectrum function (F) untuk elbow 90° penampang segi empat dengan aspek rasio 3:1

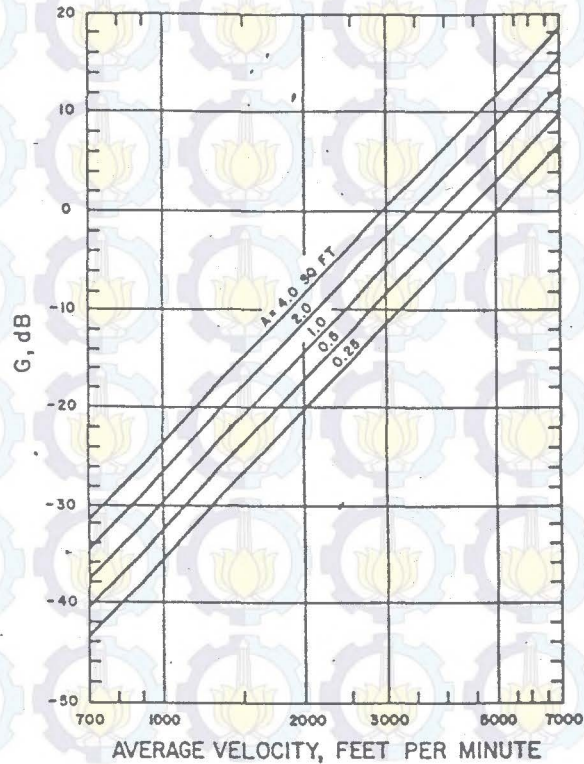


Gb. 3.5 Spectrum function (F) untuk persimpangan 90°

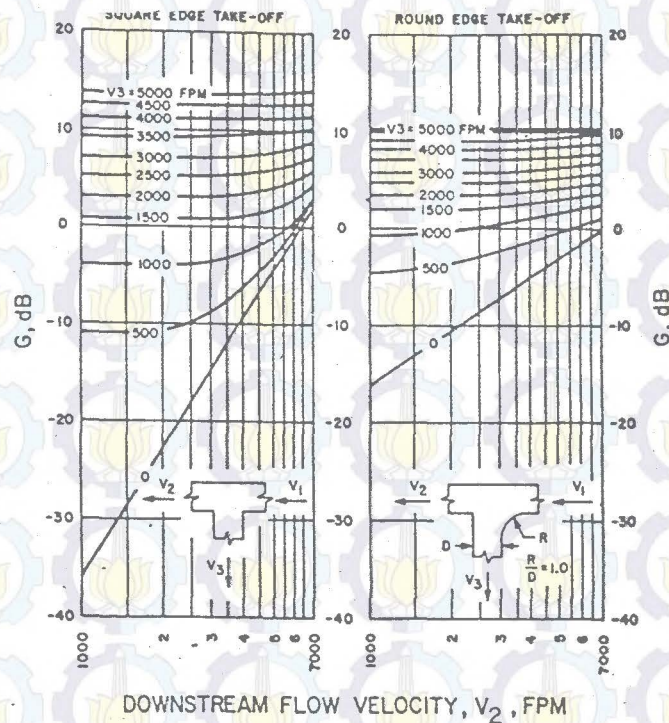
Nilai untuk pita oktaf dengan correction function (H) didapatkan dari tabel 3-8. Nilai (H) bukan suatu fungsi dari



elemen saluran udara, tetapi hanya tergantung pada pita oktaf yang diinginkan.



Gb. 3.6 Velocity function (G) untuk elbow 90°



Gb. 3.7 Velocity function (G) untuk persimpangan 90°

Octave-Band Center Frequency, hertz	H, dB
63	16
125	19
250	22
500	25
1000	28
2000	31
4000	34
8000	37

Tabel 3-8 Correction function

Efek daya bunyi yang dibangkitkan aliran untuk elbow 90° dengan mudah dapat dilihat dalam gambar 3.6. Untuk suatu kelipatan aliran rata-rata dalam elemen saluran udara, daya bunyi meningkat kurang lebih 12 dB.

### 3.2.9 Aliran Kebisingan yang Dibangkitkan Silencer

Silencer dipakai dengan tujuan untuk mengurangi bunyi yang dibangkitkan oleh aliran udara dari suatu sistem. Untuk mendapatkan pengurangan bunyi yang maksimum dalam silencer aliran dihambat oleh baffle, liner, splitter dan lain-lain.

Aliran udara yang mengalir melintasi permukaan alat pengurang suara dapat membangkitkan suatu aliran kebisingan. Oleh karen itu suatu silencer dapat juga sebagai pembangkit daya bunyi.

Daya bunyi yang dibangkitkan silencer dapat diprediksi dari persamaan :

$$L_v = -145 + 55 \log V + 10 \log A - 45 \log \frac{P}{100} - 20 \log \frac{460 + T}{530} \quad (3.9)$$

Dimana :

$L_v$  = pita oktaf tingkat daya bunyi



$V$  = kecepatan aliran (ft/min)

$A$  = luas penampang melintang (ft<sup>2</sup>)

$P$  = prosentase luas penampang melintang bukaan dalam luas bukaan silencer dibagi dengan luas penampang melintang total silencer

$T$  = temperatur udara

Persamaan (3.9) dapat dipakai sebagai metode untuk memprediksi tingkat daya bunyi maksimum dari silencer tanpa memperhatikan streamline aliran.

Streamline dari baffle dalam silencer bisa juga mengurangi daya bunyi yang dibangkitkan sebesar 10 dB.

### 3.2.10 Bunyi yang Dibangkitkan oleh Penghalang Dalam Aliran

Penghalang atau penghambat seperti batang, ring, strip, damper dan sebagainya dalam suatu sistem saluran udara akan membangkitkan bunyi, yang disebabkan adanya gesekan dengan aliran.

Fluktuasi gaya yang disebabkan turbulensi aliran dan juga vortex akan bergesekan dengan tepi penghalang, merupakan mekanisme pembangkit kebisingan.

Daya bunyi yang disebabkan aliran udara melintasi penghalang adalah sebanding dengan pressure drop melintasi penghalang.

Desain aliran yang melewati penghalang dirancang menghasilkan pressure drop serendah mungkin untuk meminimalkan bunyi yang dibangkitkan.

### 3.2.10.1 Suatu Batang dalam Aliran

Daya bunyi keseluruhan dalam Watt, yang dibangkitkan oleh suatu batang penghalang yang uniform dalam suatu aliran seperti gambar di bawah, diberikan oleh persamaan :

$$W = \frac{2,5 \times 10^{-4} \Delta P D^3}{\rho^2 C^3} \text{ Watts} \quad (3.10)$$

Dimana :

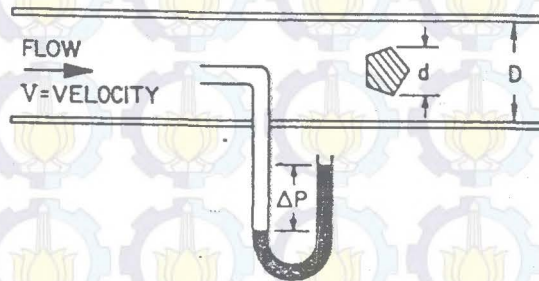
$D$  = diameter saluran udara (in)

$\Delta P$  = pressure drop total melintasi batang ( $N/m^2$ )

$\rho$  = density ( $kg/m^3$ )

$C$  = kecepatan bunyi (m/s) =  $20,04\sqrt{T_{abs}}$

$T_{abs}$  = temperatur absolut ( $^{\circ}K$ )



Gb. 3.8 Penghalang batang dalam aliran

Apabila batang cukup dekat dengan keluaran (exit) maka tekanan aliran pada batang hampir sama dengan tekanan atmosfer, pressure drop dapat didapatkan dari persamaan :

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (3.11)$$

Dimana :

$V$  = kecepatan aliran (m/s)

Tingkat daya bunyi keseluruhan dapat dihitung dari :



$$L_v = 10 \log \left[ \frac{W}{10^{-12}} \right] \text{ dB} \quad (3.12)$$

$$L_v = 10 \log \left[ \frac{2,5 \times 10^8 \Delta P^3 D^2}{\rho^2 C^3} \right] \text{ dB} \quad (3.13)$$

$$L_v = 10 \log \left[ \frac{3,125 \times 10^7 \rho V^6 D^2}{C^3} \right] \text{ dB} \quad (3.14)$$

Sedangkan frekuensi puncak ( $f_p$ ) untuk batang yang tidak bundar dapat diestimasi dari persamaan :

$$f_p = \frac{\beta V}{d} \quad (3.15)$$

Dimana :

$f_p$  = frekuensi puncak untuk tingkat daya bunyi (Hz)

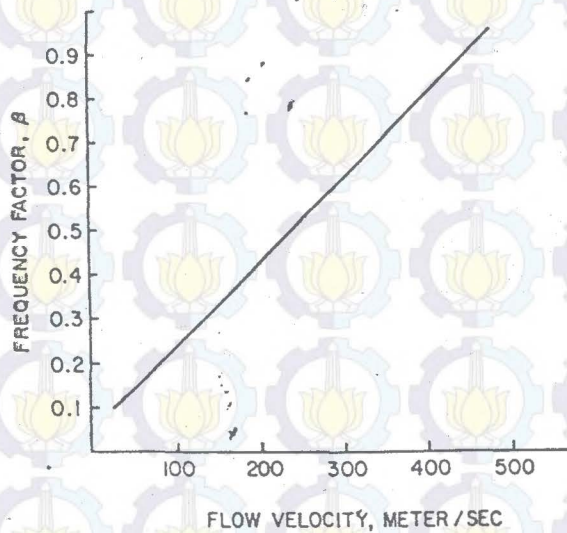
$V$  = kecepatan aliran (m/s)

$d$  = tinggi proyeksi dari batang (m)

$\beta$  = faktor frekuensi yang diubungkan dengan kecepatan aliran seperti ditunjukkan dalam gambar 3.9. Untuk batang lingkaran  $\beta=0,20$

Faktor  $\beta$  adalah suatu parameter yang tergantung pada kecepatan aliran di penghalang.

Dari tingkat daya bunyi total (pers 3.14) dan dari frekuensi puncak, hubungan tingkat daya bunyi sebagai suatu fungsi dari frekuensi dapat ditentukan dengan menggunakan tabel 3-9. Tingkat daya bunyi pada pecahan atau kelipatan dari frekuensi puncak dapat didapatkan dengan mengurangi dengan suatu nilai yang tepat, seperti dalam tabel 3-8.



Ab. 3.9 Faktor frekuensi  $\beta$  fungsi kecepatan aliran

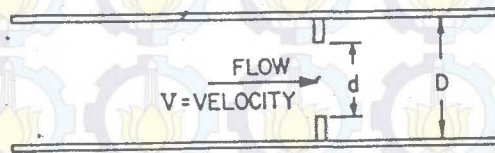
Frequency Related to Peak Frequency, $f_p$	Correction to Overall Sound-Power Level, dB
$\frac{1}{16} f_p$	-23
$\frac{1}{8} f_p$	-16
$\frac{1}{4} f_p$	-11
$\frac{1}{2} f_p$	-6
$1 f_p$	-4
$2 f_p$	-7
$4 f_p$	-12
$8 f_p$	-18
$16 f_p$	-23

Tabel 3.8 Koreksi frekuensi tingkat daya bunyi total untuk penghalang batang, ring dan strip

### 3.2.10.2 Penghalang Ring

Tingkat daya bunyi total yang dibangkitkan oleh suatu penghalang ring dalam aliran dapat diestimasikan dengan persamaan (3.14). Dalam masalah ini  $V$  adalah kecepatan dalam m/s, adalah kecepatan yang melalui ring seperti gambar 3.10.





Gb. 3.10 Penghalang ring dalam aliran

Frekuensi puncak ( $f_p$ ) untuk suatu ring dalam saluran udara dihitung dengan persamaan :

$$f_p = \frac{V}{1/2(D-d)} \quad (3.16)$$

Dimana :

$f_p$  = frekuensi puncak (Hz)

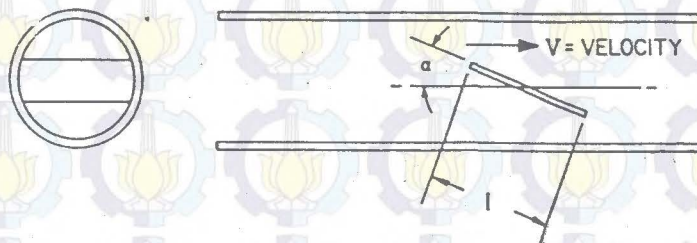
$V$  = kecepatan udara yang melewati ring (m/s)

$D$  = diameter saluran udara (m)

$d$  = diameter dalam ring (m)

### 3.2.10.3 Penghalang Strip (Strip Obstruction)

Tingkat daya bunyi dari suatu penghalang strip dalam aliran seperti dalam gambar 3.11, dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan (3.14), dimana kecepatan adalah seperti yang ditunjukkan dalam gambar 3.11.



Gb. 3.11 Penghalang strip dalam aliran

Frekuensi puncak dihitung dengan persamaan :

$$f_p = \frac{8 D V}{l \sin \alpha} \quad (3.17)$$

Dimana :

$V$  = kecepatan aliran rata-rata dalam bukaan antara saluran udara dengan strip (m/s)

$l$  = lebar strip (m)

$\alpha$  = sudut antara strip dengan axis (radian)

Sedangkan distribusi frekuensi dapat diestimasi dengan menggunakan tabel 3-8.

### 3.2.11 Kebisingan pada Katup Pengatur Aliran

Damper atau katup butterfly adalah salah satu peralatan yang digunakan untuk mengatur aliran dalam suatu saluran udara, seperti ditunjukkan dalam gambar 3.12 a dan b.

Untuk perbandingan tekanan yang agak rendah yang melintasi katup (mendekati 3) aliran dapat menjadi terhambat dan mengakibatkan adanya suatu kecepatan melewati katup, yang dapat menimbulkan bunyi.

Keadaan dari hambatan aliran yang melalui katup merupakan mekanisme pembangkit kebisingan, dan dapat diklasifikasikan dalam dua klas. Sebelum keadaan aliran dihambat dan keadaan aliran dihambat.

Pembangkitan daya bunyi dalam Watt yang dihubungkan dengan laju aliran massa yang melalui katup dan kecepatan bunyi dalam media aliran, dinyatakan dalam persamaan.

Untuk rasio tekanan kurang dari 3 :



$$W = 3 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \text{ c}^2 \text{ Watt} \quad (3.18)$$

Untuk rasio tekanan sama atau lebih dari (aliran terhambat):

$$W = 12 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \text{ c}^2 \text{ Watt} \quad (3.19)$$

Dimana :

$W$  = tingkat daya bunyi total (Watt)

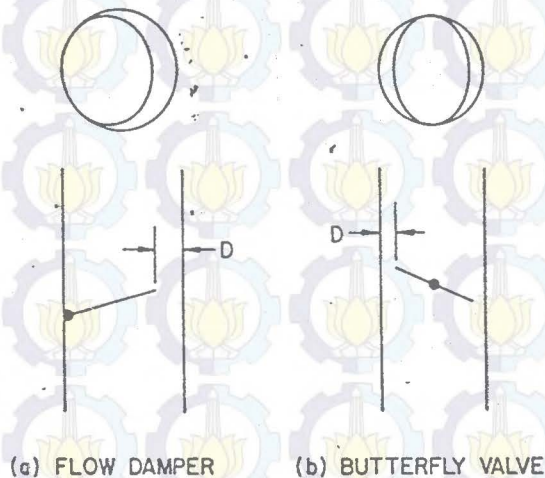
$\dot{m} = \frac{dm}{dt}$  = laju aliran massa melalui katup (kg/s)

=  $\rho V$  dimana  $\rho$  adalah density ( $\text{kg/m}^3$ ) dan  $V$  adalah kecepatan aliran rata-rata dalam saluran udara

$c$  = kecepatan bunyi dalam media aliran (m/s)

Tingkat daya bunyi keseluruhan dapat dihitung dengan persamaan :

$$L_w = 10 \log \left[ \frac{W}{10^{-12}} \right] \text{ dB} \quad (3.20)$$



Gb. 3-12 Katup pengatur aliran

Karena itu tingkat daya bunyi menjadi :

Untuk rasio tekanan kurang dari 3 :

$$L_w = 10 \log (3 \times 10^7 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \text{ c}^2) \text{ dB} \quad (3.21)$$

Untuk rasio tekanan sama atau lebih dari 3 :

$$L_v = 10 \log (6 \times 10^8 \frac{m}{s^2} c^2) \quad dB \quad (3.21)$$

Distribusi frekuensi dari tingkat daya bunyi dapat didapatkan untuk kasus aliran tidak dihambat (rasio tekanan kurang atau sama dengan 3) dari frekuensi puncak ( $f_p$ )

$$f_p = \frac{c}{5 D} \quad (3.23)$$

Dimana :

$f_p$  = frekuensi pada tingkat daya bunyi yang terbesar (Hz)

$c$  = kecepatan bunyi dalam aliran (m/s)

$D$  = suatu jarak seperti dalam gambar 3.12 (m)

Tingkat daya bunyi pada frekuensi yang lain adalah kelipatan atau pecahan dari frekuensi puncak dapat didapatkan dari tabel 3-9.

Untuk kondisi aliran terhambat, dimana rasio tekanan yang melintasi katup adalah lebih besar dari 3, frekuensi puncak adalah tergantung pada rasio tekanan.

Frekuensi puncak diberikan oleh persamaan :

$$f_p = \frac{St \cdot c}{D} \quad (3.24)$$

Dimana :

$f_p$  = frekuensi puncak (Hz)

$c$  = kecepatan bunyi (m/s)

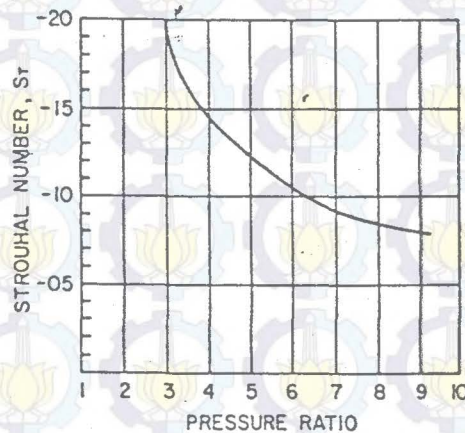
$D$  = dimensi karakteristik aliran dari gambar 3.12 (m)

$St$  = bilangan Strouhal dari gambar 3.13



Frequency Related to Peak Frequency, $f_p$	Correction to Overall Sound-Power Level, dB	
	Pressure Ratio $< 3$	Pressure Ratio $\geq 3$
$\frac{1}{16} f_p$	-32	-40
$\frac{1}{8} f_p$	-24	-30
$\frac{1}{4} f_p$	-15	-19
$\frac{1}{2} f_p$	-7	-10
$1 f_p$	-4	-7
$2 f_p$	-6	-10
$4 f_p$	-10	-16
$8 f_p$	-14	-25
$16 f_p$	-18	-34

Tabel 3-9 Koreksi frekuensi tingkat daya bunyi untuk katup



Gb. 3.13 Bilangan strouhal (St) fungsi dari rasio tekanan

Untuk kasus aliran terhambat, frekuensi puncak dihubungkan dengan bilangan Strouhal seperti diberikan oleh gambar 3.13. Distribusi frekuensi untuk aliran terhambat didapatkan untuk pecahan atau kelipatan ( $f_p$ ) dari tabel 3-9.

## BAB IV

### PERHITUNGAN KEBISINGAN SISTEM VENTILASI UDARA

#### KAMAR MESIN KM CARAKA JAYA III

##### 4.1 DATA-DATA TEKNIS FAN

- Pabrik pembuat : TAIYO ELECTRIC MFG CO LTD
- Type : VERTICAL AXIAL REVERSIBLE
- Model : FA - B - 80 - 2
- Kapasitas :  $300 \text{ m}^3 / \text{min}$
- Putaran : 1410 RPM
- Motor output : 3,7 KW
- Tekanan statik : 30 mm H<sub>2</sub>O
- Jumlah blade : 9
- Diameter runner : 800 mm
- Clearence blade dan casing : 4,5 mm
- Berat : 191 kg

Data-data dari saluran udara seperti dalam gambar-gambar dan lampiran.

##### 4.2 ESTIMASI KEBISINGAN FAN

Untuk mengestimasi tingkat daya bunyi yang dihasilkan fan ( $L_w$ ), diperlukan data-data sebagai berikut :

- Type fan : tube axial
- Kapasitas :  $300 \text{ m}^3 / \text{min} = 5 \text{ m}^3 / \text{s}$
- Tekanan total : dari data fan yang diketahui hanya tekanan statik.



- Putaran fan : 1410 RPM
- Jumlah blade : 9

#### 4.2.1 Tekanan Total

$$P_t = P_s + P_v \quad \text{mm H}_2\text{O}$$

Dimana :

$P_t$  = tekanan total

$P_s$  = tekanan statik yaitu tekanan untuk mengatasi tahanan aliran melalui saluran udara.

$P_v$  = tekanan dinamis yaitu tekanan yang dihasilkan oleh kecepatan udara dalam saluran udara.

Tekanan dinamik ( $P_v$ ) :

$$P_v = \frac{V^2}{2 \times g} \gamma \quad \text{mm H}_2\text{O}$$

Dimana :

$V$  = kecepatan udara (m/s)

$\gamma$  = gravitasi spesifik udara ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $= 1,2 \text{ kg/m}^3$

$g$  = percepatan gravitasi =  $9,8 \text{ m/s}^2$

$$P_v = \frac{V^2}{2 \times 9,8} \times 1,2 = \frac{V^2}{16,3} = \left[ \frac{V}{4,04} \right]^2 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$V = Q / A$$

Dimana :

$Q$  = kapasitas aliran udara =  $5 \text{ m}^3/\text{s}$

$A$  = luas penampang saluran udara (casing)  
 $= 800 \text{ mm} = 0,8 \text{ m}$

Sehingga :

$$V = \frac{5 \times 4}{\pi \times 0,8^2} = 9,95 \text{ m/s}$$

Jadi :

$$P_v = \left[ \frac{9,95}{4,04} \right]^2 = 6,06 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$\text{Tekanan total (P}_t\text{)} = 30 + 6,06 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$= 36,06 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$P_t = 36,06 / 101,6 = 0,355 \text{ kPa}$$

#### 4.2.2 Perhitungan Kebisingan Fan

Tingkat daya bunyi yang dihasilkan fan dengan data-data teknis sebagai berikut :

- Type fan : tube axial
- Kapasitas :  $5 \text{ m}^3/\text{s}$
- Tekanan total : 0,355 kPa
- Putaran fan : 1410 RPM
- Jumlah blade : 9

Dapat dihitung dengan langkah-langkah sebagai berikut :

a. Tingkat daya bunyi spesifik ( $K_v$ ) didapat dari tabel 3-1 untuk tube axial fan, ditunjukkan dalam baris 1 dari tabel 4-1 di bawah.

b. Menghitung faktor koreksi untuk kondisi aktual

$$C = 10 \log Q + 20 \log P_t$$

$$C = 10 \log 5 + 20 \log 0,355$$

$$C = 7 - 9 = -2 \text{ dB}$$

Harga -2 dB ditambahkan untuk setiap pita oktaf, ditulis



dalam baris 2 tabel 4-1.

c. Menghitung frekuensi blade (fB)

$$fB = n \times N$$

Dimana :

n = putaran fan (RPS)

N = jumlah blade = 9

$$fB = \frac{1410 \times 9}{60} = 211,5 = 212 \text{ Hz}$$

212 Hz masuk pita oktaf 250 Hz

Dari tabel 3-1 diketahui "blade frequency increment" (BFI) = 7 db untuk tube axial fan.

Harga 7 dB ditambahkan pada pita oktaf 250, pita oktaf lainnya nol, seperti ditulis pada baris 3 tabel 4-1.

d. Tingkat daya bunyi yang dibangkitkan fan untuk tiap-tiap frekuensi center pita oktaf adalah jumlah nilai baris 1,2 dan 3 pada tabel di bawah.

Tingkat daya bunyi yang dihasilkan fan, dapat diasumsikan bahwa setengah diradiasikan dari inlet fan dan setengahnya dari outlet fan.

Dalam masalah kebisingan saluran udara, hanya tingkat daya bunyi yang diradiasikan dari outlet yang diperhitungkan. Sehingga harus mengoreksi nilai yang telah dihitung di atas. Harga koreksi adalah -3 dB untuk tiap-tiap pita oktaf, ditulis pada baris 4 tabel di bawah.

Jadi tingkat daya bunyi pada outlet fan untuk setiap frekuensi pita oktaf adalah jumlah nilai baris 1,2,3 dan 4. Hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-1.

No	Frekuensi center pita oktaf							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	88	89	95	94	92	91	85	83
2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
3	0	0	7	0	0	0	0	0
4	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
5	83	84	97	89	87	86	80	78

Tabel 4-1 Tingkat daya bunyi fan

#### 4.3 PERHITUNGAN KEBISINGAN DALAM SALURAN UDARA

Langkah-langkah dalam menghitung tingkat daya bunyi yang dihasilkan ataupun dikurang / diredam oleh elemen-elemen dalam saluran udara, adalah sebagai berikut :

- Menentukan tingkat daya bunyi input yang diradiasikan oleh outlet fan (baris 5 tabel 4-1).
- Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan oleh elemen-elemen saluran udara.
- Menentukan tingkat daya bunyi yang dikurangi / diredam oleh elemen-elemen saluran udara.

Adapun data-data dari sistem saluran udara seperti dalam gambar-gambar (lampiran).

##### 4.3.1 Kebisingan Saluran Udara Port Side Kamar Mesin

Perhitungan tingkat daya bunyi dalam saluran udara, diselesaikan dengan langkah-langkah sebagai berikut, dan hasilnya dirangkum dalam tabel 4-17 :



1. Tingkat daya bunyi input adalah tingkat daya bunyi yang diradiasikan fan, didapat dari tabel 4-1 baris 5.
2. Menentukan besarnya redaman oleh saluran udara 750 x 400 mm sepanjang 1150 mm, antara fan dan elbow 90° pertama. Nilai redaman pita oktaf didapat dari tabel 3-0 untuk saluran udara tanpa isolasi ukuran medium : 0,6 dB/m untuk frekuensi 125 Hz ke bawah, 0,3 dB/m untuk frekuensi 250 Hz, dan 0,15 dB/m untuk frekuensi 500 Hz ke atas.
3. Menentukan redaman dari elbow 90° pertama dalam saluran udara 750 x 400 mm. Besarnya redaman didapat dari tabel 3-5, ditulis pada baris 3 Tabel 4-17.
4. Menghitung tingkat daya bunyi yang dihasilkan fan setelah elbow 90° pertama. Didapat dengan mengurangi baris 1 dengan jumlah baris 2 dan 3.
5. Menghitung tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° pertama, dihitung dengan persamaan :

$$L_v = F + G + H \quad \text{dB}$$

- a. Kecepatan rata-rata dalam saluran udara (V) :

$$V = 250 / (0,75 \times 0,4) = 833,3 \text{ m/min} = 2734 \text{ fpm}$$

Diameter ekivalen saluran udara (D) :

$$D = (4/\pi \times 750 \times 400)^{0,5} = 618 \text{ mm} = 24,3 \text{ inchi}$$

$$\text{Strouhal Number (St)} = \frac{5 D}{V} f = \frac{5 \times 24,3}{2734} f = 0,044 f$$

Nilai St untuk masing-masing pita oktaf ditulis pada baris 1 tabel 4-2

- b. Spectrum function F didapat dari gb.3.3 untuk setiap nilai St pada baris 1. Hasilnya ditulis pada baris 2 tabel 4-3.

- c. Velocity function G, dari gb.3.6 didapatkan dengan memasukkan nilai  $V = 2734$  fpm dan luas aliran = 3,2 sq ft. Hasilnya -3 dB untuk setiap pita oktaf dan ditulis pada baris 3 tabel 4-2.
- d. Correction function H, didapatkan dari tabel 3-8 untuk setiap pita oktaf dan ditulis pada baris 4 tabel 4-2.
- e. Tingkat daya bunyi pita oktaf yang dihasilkan oleh elbow didapat dengan menjumlahkan nilai pada baris 2,3 dan 4 tabel 4-2, hasilnya ditulis pada baris 5.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	2,8	5,5	11	22	44	88	176	352
2	Spectrum function F (dari gb.3.3)	52	45	38	34	31	28	25	19
3	Velocity function g (dari gb.3.6)	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
4	Correction function H (tabel 3-7)	16	19	22	25	28	31	34	37
5	Lv oleh elbow 90° (F + G + H) dB	65	61	57	56	56	56	56	53

Tabel 4-2 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90°

6. Menentukan total tingkat daya bunyi setelah elbow 90° didapatkan dengan penjumlahan logaritmik tingkat daya bunyi pada elbow 90° dan tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90°, dengan menggunakan persamaan :

$$L_v = 10 \log \left[ \log^{-1} \left[ \frac{L_{v1}}{10} \right] + \log^{-1} \left[ \frac{L_{v1}}{10} \right] \right] \text{ dB}$$

Untuk tiap-tiap.

7. Menentukan besarnya redaman oleh saluran udara 750 x 400



400 mm sepanjang 450 mm, antara elbow 90° dan percabangan saluran udara keluaran 1. Didapat dari tabel 3-4.

8. Menentukan tingkat daya bunyi pada percabangan saluran udara keluaran 1. Didapatkan dengan mengurangi baris 6 dengan baris 7.

9. Menentukan besarnya redaman karena perbedaan luas penampang saluran udara pada percabangan, untuk saluran udara keluaran 1 (250 x 250 mm) .

Prosentase luas dari saluran udara utama :

$$(250 \times 150)/(750 \times 400) \times 100 \% = 12,5\% . \text{ Dari tabel}$$

3-2 didapat redaman sebesar 8 dB.

10. Menentukan besarnya redaman karena perbedaan luas penampang saluran udara, untuk saluran udara 700 x 400 mm Prosentase luas dari saluran udara utama :  $(700 \times 400)/(750 \times 400) \times 100 \% = 93,3\% .$  Dari tabel 3-2 didapat redaman sebesar 0 dB.

11. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara terminal output 1 (250 x 150 mm), didapatkan dari baris 8 - baris 9.

12. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara 700 x 400 mm, didapatkan dari baris 8 - baris 10.

13. Menghitung tingkat daya bunyi yang dihasilkan oleh saluran udara di percabangan saluran keluaran 1.

a. Strouhal Number ( $St$ ) =  $\frac{5 \times 24,3}{2734} f = 0,044 f$ , nilai  $St$  untuk masing-masing pita oktaf ditulis pada baris 1 tabel 4-3.

Kecepatan udara dalam saluran udara cabang 250 x 150

mm ( $V_1$ ) :

$$V_1 = 22,5 / (0,25 \times 0,15) = 600 \text{ m/min} = 1968 \text{ fpm}$$

$$A_1 = (0,25 \times 0,15) / 0,0929 = 0,4 \text{ sq ft}$$

Kecepatan saluran udara dalam saluran udara 700 x 400

mm ( $V_2$ ) :

$$V_2 = 27,5 / (0,7 \times 0,4) = 812,5 \text{ m/min} = 2665 \text{ fpm}$$

$$A_2 = (0,7 \times 0,4) / 0,0929 = 3 \text{ sq ft}$$

- b. Spectrum function F untuk saluran udara cabang 250 x 150 mm didapatkan dari gb.3.5 dengan harga  $S_t$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 0,4 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 2 tabel 4-3.
- c. Spectrum function F untuk saluran udara utama 700 x 400 mm, didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan harga  $S_t$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 3 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 3 tabel 4-3.
- d. Menentukan velocity function G didapatkan dari gb.3.7 dengan memasukkan harga  $V_1 = 1968 \text{ fpm}$  dan harga  $V_2 = 2665 \text{ fpm}$ . Hasilnya 3 dB ditulis pada baris 4 tabel 4-3.
- e. Menentukan harga correction function H, didapatkan dari tab. 3-8 hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-3.
- f. Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara cabang 250x 150 mm didapat dari penjumlahan baris 2,4 dan 5, hasilnya ditulis pada baris 6 tabel 4-3.
- g. Tingkat daya bunyi yg dihasilkan saluran udara utama 700 x 400 mm didapat dari penjumlahan baris 3,4 dan 5, hasilnya ditulis pada baris 7 tabel 4-3.



No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	2,8	5,5	11	22	44	88	176	52
2	Spectrum function F untuk cabang	56	48	43	37	30	22	13	4
3	Spectrum function F saluran utama	63	55	49	43	36	27	19	10
4	Velocity function	3	3	3	3	3	3	3	3
5	Correction functi on H	16	19	22	25	28	31	34	37
6	Lv oleh cabang	75	70	68	65	61	56	50	44
7	Lv oleh sal.utama	82	77	74	71	67	61	56	50

Tabel 4-3 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan percabangan

14. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 700 x 400 mm, didapat dari baris 7 tabel 4-3.
15. Menentukan total tingkat daya bunyi pada saluran udara terminal output 1 (250 x 150 mm), didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 11 dengan baris 13 (seperti langkah No : 6).
16. Menentukan total tingkat daya bunyi pada saluran udara 700 x 400 mm (setelah percabangan terminal output 1), didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 12 dengan baris 14 (seperti langkah No : 6).
17. Menentukan besarnya redaman oleh saluran udara 700 x 400 mm antara percabangan terminal output 1 dan percabangan empat saluran udara. Didapatkan dari tabel 3-4.
18. Menentukan tingkat daya bunyi pada percabangan empat saluran udara, didapatkan dari baris 16 - baris 17.



19. Menentukan redaman karena perbedaan luas saluran udara cabang 600 x 250 mm. Prosentase luas saluran udara cabang :  $(600 \times 250) / (700 \times 400) \times 100\% = 50\%$ . Dari tabel 3-2 didapatkan redaman sebesar 3 dB.
20. Menentukan redaman karena perbedaan luas saluran udara cabang 400 x 310 mm. Prosentase luas saluran udara cabang :  $(400 \times 310) / (700 \times 400) \times 100\% = 44,3\%$ . Dari tabel 3-2 didapatkan redaman sebesar 4 dB.
21. Menentukan redaman karena perbedaan luas saluran udara cabang 250 x 150 mm. Prosentase luas saluran udara cabang :  $(250 \times 150) / (700 \times 400) \times 100\% = 13,3\%$ . Dari tabel 3-2 didapatkan redaman sebesar 8 dB.
22. Menentukan redaman karena perbedaan luas saluran udara cabang 250 x 250 mm. Prosentase luas saluran udara cabang :  $(250 \times 250) / (700 \times 400) \times 100\% = 22,2\%$ . Dari tabel 3-2 didapatkan redaman sebesar 7 dB.
23. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara cabang 600 x 250 mm, didapatkan dari baris 18 - 19.
24. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara cabang 400 x 310 mm, didapatkan dari baris 18 - 20.
25. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara cabang 250 x 150 mm, didapatkan dari baris 18 - 21.
26. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara cabang 250 x 250 mm, didapatkan dari baris 18 - 22.
27. Menghitung tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara pada percabangan empat saluran udara.
- a. Diameter ekivalen  $D = (4/\pi \times 700 \times 400)^{0,5} = 597 \text{ mm}$



= 23,5 inchi.

$$\text{Strouhal Number } (St) = \frac{5 \times 23,5}{2665} f = 0,044 f$$

Nilai  $St$  untuk masing-masing pita oktaf ditulis pada baris 1 tabel 4-4.

- Kecepatan udara dalam saluran udara 600 x 250 mm :

$$V_1 = 92,5 / (0,6 \times 0,25) = 616,7 \text{ m/min} = 2023 \text{ fpm}$$

$$\text{Luas penampang } A_1 = 1,6 \text{ sq ft.}$$

- Kecepatan udara dalam saluran udara 400 x 310 mm :

$$V_2 = 75 / (0,4 \times 0,31) = 604,8 \text{ m/min} = 1984 \text{ fpm}$$

$$\text{Luas penampang } A_2 = 1,3 \text{ sq ft.}$$

- Kecepatan udara dalam saluran udara 250 x 150 mm :

$$V_3 = 22,5 / (0,25 \times 0,15) = 600 \text{ m/min} = 1968 \text{ fpm}$$

$$\text{Luas penampang } A_3 = 0,4 \text{ sq ft.}$$

- Kecepatan udara dalam saluran udara 250 x 250 mm :

$$V_4 = 37,5 / (0,25 \times 0,25) = 600 \text{ m/min} = 1968 \text{ fpm}$$

$$\text{Luas penampang } A_4 = 0,7 \text{ sq ft.}$$

b. Spectrum function  $F$  untuk saluran udara cabang 600 x 250 mm, didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan

harga  $St$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 1,6 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 2 tabel 4-4.

c. Spectrum function  $F$  untuk saluran udara cabang 400 x 310 mm, didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan

harga  $St$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 1,3 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 3 tabel 4-4.

d. Spectrum function  $F$  untuk saluran udara cabang 250 x 150 mm, didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan

harga  $St$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 0,4

- sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 4 tabel 4-4.
- e. Spectrum function F untuk saluran udara cabang 250 x 250 mm, didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan harga  $S_t$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 0,7 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-4.
- f. Velocity function G saluran udara cabang 600 x 250 mm dan saluran udara 250 x 250 mm, didapatkan dari gb.3.7 dengan memasukkan nilai  $V_2 = 2023$  fpm dan  $V_3 = 1968$  fpm. Hasilnya sebesar 3 dB ditulis pada baris 6 tabel 4-4.
- g. Velocity function G saluran udara cabang 400 x 310 mm dan saluran udara 250 x 250 mm, didapatkan dari gb.3.7 dengan memasukkan nilai  $V_2 = 1984$  fpm dan  $V_3 = 1968$  fpm. Hasilnya sebesar 3 dB ditulis pada baris 7 tabel 4-4.
- h. Velocity function G saluran udara cabang 250 x 150 mm dan saluran udara 250 x 250 mm, didapatkan dari gb.3.7 dengan memasukkan nilai  $V_2 = 1968$  fpm dan  $V_3 = 1968$  fpm. Hasilnya sebesar 3 dB ditulis pada baris 8 tabel 4-4.
- i. Correction function H, didapatkan dari tabel 3-8 dan hasilnya ditulis pada baris 9 tabel 4-4.
- j. Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 600 x 250 mm, didapat dari penjumlahan baris 2,6 dan 9, hasilnya ditulis pada baris 10 tabel 4-4.
- k. Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 400 x 310 mm, didapat dari penjumlahan baris 3,7 dan 9,



hasilnya ditulis pada baris 11 tabel 4-4.

l. Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 250 x 150 mm, didapat dari penjumlahan baris 4,8 dan 9, hasilnya ditulis pada baris 12 tabel 4-4.

m. Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 250 x 250 mm, didapat dari penjumlahan baris 5,8 dan 9, hasilnya ditulis pada baris 13 tabel 4-4.

Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara cabang 600 x 250 mm, didapat dari baris 10 tabel 4-4.

28. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara cabang 400 x 310 mm, didapat dari baris 11 tabel 4-4.

29. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara cabang 250 x 150 mm, didapat dari baris 12 tabel 4-4 dan ditulis pada baris 29 tabel 4-17.

30. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 250 x 250 mm, didapat dari baris 11 tabel 4-4 dan ditulis pada baris 30 tabel 4-17.

31. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara cabang 600 x 250 mm, didapat dari penjumlahan logaritmik baris 23 dengan baris 27.

32. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara cabang 400 x 310 mm, didapat dari penjumlahan logaritmik baris 24 dengan baris 28.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	2,8	5,5	11	22	44	88	176	352
2	Spectrum function F (600 x 250 mm)	63	55	49	42	36	27	19	10
3	Spectrum function F (400 x 310 mm)	62	54	48	42	35	26	18	9
4	Spectrum function F (250 x 150 mm)	56	48	43	37	30	22	13	4
5	Spectrum function F (250 x 250 mm)	58	50	45	39	32	24	15	6
6	Velocity function ( G <sub>1</sub> )	3	3	3	3	3	3	3	3
7	Velocity function ( G <sub>2</sub> )	3	3	3	3	3	3	3	3
8	Velocity function ( G <sub>3</sub> )	3	3	3	3	3	3	3	3
9	Correction func tion H	16	19	22	25	28	31	34	37
10	L <sub>v</sub> : 600 x 250 mm (baris 2 + 6 + 9)	82	77	74	69	67	61	56	50
11	L <sub>v</sub> : 400 x 310 mm (baris 3 + 7 + 9)	81	76	73	68	66	60	55	49
12	L <sub>v</sub> : 250 x 150 mm (baris 4 + 8 + 9)	75	70	67	62	60	54	49	43
13	L <sub>v</sub> : 250 x 250 mm (baris 5 + 8 + 9)	77	72	69	64	62	56	51	45

Tabel 4-4 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan percabangan

33. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara cabang 250 x 150 mm, didapat dari penjumlahan logaritmik baris 25 dengan baris 29.
34. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara cabang 250 x 250 mm, didapat dari penjumlahan logaritmik baris



26 dengan baris 30.

35. Menentukan besarnya redaman pada saluran udara 250 x 150 mm sepanjang 334 mm. Dari tabel 3-4 didapatkan nilai redaman : 0,6 dB/m untuk frekuensi 125 Hz ke bawah, 0,45 dB/m untuk frekuensi 250 Hz dan 0,3 dB/m untuk frekuensi 500 Hz ke atas. Hasilnya ditulis pada baris 35 tab.4-17.

36. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara terminal output 2 (250 x 150 mm), didapatkan dari baris 33 - 35. Hasilnya ditulis pada baris 36 tabel 4-17.

37. Menentukan besarnya redaman oleh saluran udara cabang 600 x 250 mm. Didapat dengan menggunakan tabel 3-4, besarnya redaman : 0,6 dB/m untuk frekuensi 125 Hz ke bawah, 0,3 dB/m untuk frekuensi 250 Hz, dan 0,15 dB/m untuk frekuensi 500 Hz ke atas.

38. Menentukan redaman pada saluran udara cabang 300 x 250 mm karena perbedaan luas penampang saluran.

Prosentase luas :  $(300 \times 250) / (600 \times 250) \times 100\% = 50\%$   
Dari tabel 3-2 didapatkan harga redaman sebesar 3 dB.

39. Menentukan redaman pada elbow 90° 300 x 250 mm (kiri), didapatkan dari tabel 3-5.

40. Menentukan tingkat daya bunyi setelah elbow 90° (kiri), didapatkan dari baris 31 - (baris 37 + 38 + 39).

41. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° 300 x 250 mm (kiri) :

a. Kecepatan rata-rata dalam saluran udara 300 x 250 mm

$$V = 41,6 / (0,3 \times 0,25) = 554,7 \text{ m/min} = 1820 \text{ fpm}$$

Diameter ekivalen saluran udara (D) :

$$D = (4/\pi \times 350 \times 250)^{0.5} = 305 \text{ mm} = 12 \text{ inchi}$$

$$\text{Strouhal Number } (St) = \frac{5 D}{V} f = \frac{5 \times 12}{1820} f = 0,033 f$$

Nilai  $St$  untuk masing-masing pita oktaf ditulis pada baris 1 tabel 4-5.

b. Spectrum function  $F$  didapat dari gb.3.3 untuk setiap nilai  $St$  pada baris 1. Hasilnya ditulis pada baris 2 tabel 4-5.

c. Velocity function  $G$ , dari gb.3.6 didapatkan dengan memasukkan nilai  $V = 1820$  fpm dan luas aliran = 0,8 sq ft. Hasilnya -13 dB untuk setiap pita oktaf dan ditulis pada baris 3 tabel 4-5.

d. Correction function  $H$ , didapatkan dari tabel 3-8 untuk setiap pita oktaf dan ditulis pada baris 4 tabel 4-5.

e. Tingkat daya bunyi pita oktaf yang dihasilkan oleh elbow  $90^\circ$ , didapat dengan menjumlahkan nilai pada baris 2,3 dan 4 tabel 4-5. Hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-5.



No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	2,1	4,1	8,3	165	33	66	132	264
2	Spectrum function F (dari gb.3.3)	56	47	39	35	32	29	26	22
3	Velocity function g (dari gb.3.6)	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13
4	Correction functi on H (tabel 3-7)	16	19	22	25	28	31	34	37
5	L <sub>w</sub> oleh elbow 90° (F + G + H) dB	58	53	48	47	47	47	47	46

Tabel 4-5

42. Menentukan total tingkat daya bunyi setelah elbow 90° 300 x 250 mm (kiri). Didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 40 dengan baris 41.
43. Menentukan besar redaman pada saluran udara cabang terminal output 3 karena perbedaan luas penampang.  
Prosentase luas :  $(230 \times 290) / (300 \times 250) = 88\%$  . Dari tabel 3-2 didapatkan harga redaman sebesar 1 dB.
44. Menentukan besar redaman pada saluran udara 250 x 150 mm setelah cabang terminal output 3.  
Prosentase luas :  $(250 \times 150) / (300 \times 250) = 50\%$  . Dari tabel 3-2 didapatkan harga redaman sebesar 3 dB.
45. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara terminal output 3, didapatkan dari baris 42 - 43.
46. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara 250 x 150 mm setelah cabang terminal output 3. Didapatkan dari baris 42 - 44.

47. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara cabang terminal output 3 (230 x 290 mm) :

a. Strouhal Number ( $St$ ) =  $\frac{5 \times 12}{1820} f = 0,033 f$

Nilai  $St$  ditulis pada baris 1 tabel 4-6 untuk masing-masing pita oktaf.

- Kecepatan udara dalam saluran udara 250 x 150 mm :

$$V_1 = 22,5 / (0,25 \times 0,15) = 600 \text{ m/min} = 1968 \text{ fpm}$$

$$A_1 = (0,25 \times 0,15)/0,0929 = 0,4 \text{ sq ft}$$

- Kecepatan udara dalam saluran udara 230 x 290 mm :

$$V_2 = 19,1 / (0,23 \times 0,29) = 286 \text{ m/min} = 939 \text{ fpm}$$

$$A_2 = (0,23 \times 0,29)/0,0929 = 0,7 \text{ sq ft}$$

b. Spectrum function  $F$  untuk saluran udara terminal output 3, didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan harga  $St$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 0,7 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 2 tabel 4-6.

c. Spectrum function  $F$  untuk saluran udara 250 x 150 mm, didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan harga  $St$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 0,4 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 3 tabel 4-6.

d. Velocity function  $G$ , didapatkan dari gb.3.7 dengan memasukkan harga  $V_2 = 939 \text{ fpm}$  dan  $V_1 = 1968 \text{ fpm}$ . Hasilnya ditulis pada baris 4 tabel 4-6.

e. Correction function  $H$ , didapatkan dari tabel 3-8 dan hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-6.

f. Tingkat daya bunyi yang dibangkitkan saluran udara terminal 3, didapatkan dari penjumlahan baris 2,4 dan 5. Hasilnya ditulis pada baris 6 tabel 4-6.



- g. Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 250 x 150 mm, didapatkan dari penjumlahan baris 3,4 dan 5. Hasilnya ditulis pada baris 7 tabel 4-6.

Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara terminal output 3 (230 x 290 mm) seperti pada baris 6 tabel 4-6, ditulis pada baris 47 tabel 4-6.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	2,1	4,1	8,3	165	33	66	132	264
2	Spectrum function F untuk cabang	62	55	48	43	36	28	20	12
3	Spectrum function F saluran utama	60	53	48	41	34	26	18	9
4	Velocity function	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
5	Correction functi on H	16	19	22	25	28	31	34	37
6	Lv oleh cabang	75	70	68	65	61	56	50	44
7	Lv oleh saluran udara 250x150 mm	82	77	74	71	67	61	56	50

Tabel 4-6 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan percabangan

48. Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 250 x 150 mm, didapatkan dari baris 7 tabel 4-6.
49. Menentukan total tingkat daya bunyi pada saluran udara terminal output 3 (230 x 290 mm), didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 45 dengan baris 47.
50. Menentukan total tingkat daya bunyi pada saluran udara 250 x 150 mm), didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 46 dengan baris 48,
51. Menentukan besarnya redaman pada saluran udara 250 x 150

mm sepanjang 3485 mm. Dari tabel 3-4 didapat harga redaman sebesar 0,6 dB/m untuk frekuensi 125 Hz ke bawah, 0,45 dB/m untuk frekuensi 250 Hz dan 0,3 dB/m untuk frekuensi 500 Hz ke atas.

52. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara terminal output 4 (250 x 150 mm). Didapatkan dari baris 50 - 51.

53. Menentukan besar redaman pada saluran udara cabang 300 x 250 mm (kanan) karena perbedaan luas penampang.

$$\text{Prosentase luas} : (300 \times 250) / (600 \times 250) \times 100\% = 50\%$$

Dari tabel 3-2 didapatkan besar redaman 3 dB.

54. Menentukan besar redaman oleh elbow 90° 300 x 250 mm (kanan), didapatkan dari tabel 3-5.

55. Menentukan tingkat daya bunyi setelah elbow 90° (kanan), didapatkan dari baris 31 - (baris 37 + 53 + 54).

56. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° 300 x 250 mm (kanan) :

a. Kecepatan rata-rata dalam saluran udara 300 x 250 mm

$$V = 50,9 / (0,3 \times 0,25) = 678,7 \text{ m/min} = 2226 \text{ fpm}$$

$$A = 0,8 \text{ sq ft.}$$

Diameter ekivalen saluran udara (D) :

$$D = (4/\pi \times 350 \times 250)^{0,5} = 305 \text{ mm} = 12 \text{ inchi}$$

$$\text{Strouhal Number } (St) = \frac{5 D}{V} f = \frac{5 \times 12}{2226} f = 0,027 f$$

Nilai  $St$  untuk masing-masing pita oktaf ditulis pada baris 1 tabel 4-7.

b. Spectrum function  $F$  didapat dari gb.3.3 untuk setiap nilai  $St$  pada baris 1. Hasilnya ditulis pada baris 2



tabel 4-7.

c. Velocity function G, dari gb.3.6 didapatkan dengan memasukkan nilai  $V = 2226$  fpm dan luas aliran  $= 0,8$  sq ft. Hasilnya -14 dB untuk setiap pita oktaf dan ditulis pada baris 3 tabel 4-7.

d. Correction function H, didapatkan dari tabel 3-8 untuk setiap pita oktaf dan ditulis pada baris 4 tabel 4-7.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	1,7	3,4	6,8	135	27	54	108	216
2	Spectrum function F (dari gb.3.3)	60	50	42	37	34	30	27	23
3	Velocity function g (dari gb.3.6)	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14
4	Correction functi on H (tabel 3-7)	16	19	22	25	28	31	34	37
5	Lv oleh elbow 90° (F + G + H) dB	62	55	50	48	48	47	47	46

Tabel 4-7 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90°

e. Tingkat daya bunyi pita oktaf yang dihasilkan oleh elbow 90°, didapat dengan menjumlahkan nilai pada baris 2,3 dan 4 tabel 4-5. Hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-7.

57. Menentukan total tingkat daya bunyi setelah elbow 90° (kanan), didapatkan dari penjumlahan logaritmik baris 55 dengan baris 56.

58. Menentukan besar redaman pada saluran udara terminal output 5 karena perbedaan luas penampang.

Prosentase luas :  $(230 \times 290)/(300 \times 250) \times 100\% = 88\%$

Dari tabel 3-2 didapatkan besar redaman 1 dB.

59. Menentukan besar redaman pada saluran udara 250 x 150 mm karena perbedaan luas penampang.

Prosentase luas :  $(250 \times 210)/(300 \times 250) \times 100\% = 70\%$

Dari tabel 3-2 didapatkan besar redaman 2 dB.

60. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara terminal output 5 (230 x 290 mm). Didapatkan dari baris 57 - 58, hasilnya ditulis pada baris 60 tabel 4-17.

61. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara 250 x 210 mm. Didapatkan dari baris 57 - 59.

62. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara terminal output 5.

a. Strouhal Number ( $St$ ) =  $\frac{5 \times 12}{2226} f = 0,027 f$

Nilai  $St$  ditulis pada baris 1 tabel 4-8 untuk masing-masing pita oktaf.

- Kecepatan udara dalam saluran udara 250 x 150 mm :

$$V_1 = 31,8 / (0,25 \times 0,21) = 605,7 \text{ m/min} = 1987 \text{ fpm}$$

$$A_1 = (0,25 \times 0,21) / 0,0929 = 0,6 \text{ sq ft}$$

- Kecepatan udara dalam saluran udara 230 x 290 mm :

$$V_2 = 19,1 / (0,23 \times 0,29) = 286 \text{ m/min} = 939 \text{ fpm}$$

$$A_2 = (0,23 \times 0,29) / 0,0929 = 0,7 \text{ sq ft}$$

- b. Spectrum function  $F$  untuk saluran cabang terminal output 3, didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan harga  $St$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 0,7 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 2 tabel 4-8.

- c. Spectrum function  $F$  untuk saluran udara 250 x 210 mm,



didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan harga  $S_t$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 0,6 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 3 tabel 4-8.

d. Velocity function G, didapatkan dari gb.3.7 dengan memasukkan harga  $V_2 = 1987$  fpm dan  $V_3 = 939$  fpm. Hasilnya ditulis pada baris 4 tabel 4-8.

e. Correction function H, didapatkan dari tabel 3-8 dan hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-8.

f. Tingkat daya bunyi yang dibangkitkan saluran udara terminal 3, didapatkan dari penjumlahan baris 2,4 dan 5. Hasilnya ditulis pada baris 6 tabel 4-8.

g. Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 250 x 210 mm, didapatkan dari penjumlahan baris 3,4 dan 5. Hasilnya ditulis pada baris 7 tabel 4-8.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	1,7	3,4	6,8	135	27	54	108	216
2	Spectrum function F untuk cabang	64	58	50	44	37	30	22	12
3	Spectrum function F saluran utama	62	56	48	42	35	28	20	10
4	Velocity function	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
5	Correction functi on H	16	19	22	25	28	31	34	37
6	Lv oleh cabang	75	72	67	64	60	56	51	44
7	Lv oleh saluran udara 250x150 mm	73	70	65	62	58	54	49	42

Tabel 4-8 Tingkat daya bunyi yang dibangkitkan percabangan

Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara

terminal output 5 seperti pada baris 6 tabel 4-8, ditulis pada baris 62 tabel 4-17.

63. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 250 x 210 mm. Didapatkan dari baris 7 tabel 4-8.

64. Menentukan total tingkat daya bunyi pada saluran udara terminal output 5 (230 x 290 mm), didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 60 dengan baris 62.

65. Menentukan total tingkat daya bunyi pada saluran udara 250 x 210 mm, didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 61 dengan baris 63.

66. Menentukan besarnya redaman oleh saluran udara 250 x 210 mm sepanjang 2455 mm, antara percabangan terminal output 5 dengan elbow 90° pertama 250 x 210 mm. Didapatkan dari tabel 3-4 dan hasilnya ditulis pada baris 66 tabel 4-17.

67. Menentukan besarnya redaman oleh elbow 90° pertama 250 x 210 mm, ditulis pada baris 67 tabel 4-17.

68. Menentukan tingkat daya bunyi setelah elbow 90° pertama 250 x 210 mm, didapatkan dari baris 65 - (baris 66 + 67)

69. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° pertama 250 x 210 mm :

a. Kecepatan rata-rata dalam saluran udara 300 x 250 mm

$$V = 31,8 / (0,25 \times 0,21) = 605,7 \text{ m/min} = 1987 \text{ fpm}$$

$$A = (0,25 \times 0,21) / 0,0929 = 0,6 \text{ sq ft}$$

Diameter ekivalen saluran udara (D) :

$$D = (4/\pi \times 250 \times 210)^{0,5} = 258,5 \text{ mm} = 10,18 \text{ inchi}$$

$$\text{Strouhal Number (St)} = \frac{5 D}{V} f = \frac{5 \times 10,18}{1987} f = 0,027 f$$

Nilai St untuk masing-masing pita oktaf ditulis pada



- baris 1 tabel 4-9.
- b. Spectrum function  $F$  didapat dari gb.3.3 untuk setiap nilai  $S_t$  pada baris 1. Hasilnya ditulis pada baris 2 tabel 4-9.
- c. Velocity function  $G$ , dari gb.3.6 didapatkan dengan memasukkan nilai  $V = 1987$  fpm dan luas aliran = 0,6 sq ft. Hasilnya -18 dB untuk setiap pita oktaf dan ditulis pada baris 3 tabel 4-9.
- d. Correction function  $H$ , didapatkan dari tabel 3-8 untuk setiap pita oktaf dan ditulis pada baris 4 tabel 4-9.
- e. Tingkat daya bunyi pita oktaf yang dihasilkan oleh elbow  $90^\circ$ , didapat dengan menjumlahkan nilai pada baris 2,3 dan 4 tabel 4-9. Hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-9.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	1,7	3,4	6,8	135	27	54	108	216
2	Spectrum function $F$ (dari gb.3.3)	60	50	42	37	34	30	27	23
3	Velocity function $g$ (dari gb.3.6)	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18
4	Correction function $H$ (tabel 3-7)	16	19	22	25	28	31	34	37
5	$L_v$ oleh elbow $90^\circ$ ( $F + G + H$ ) dB	58	51	46	44	44	43	43	42

Tabel 4-9 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow  $90^\circ$

70. Menentukan total tingkat daya bunyi setelah elbow  $90^\circ$  pertama, didapat dengan penjumlahan logaritmik baris 68

dengan baris 69.

71. Menentukan besarnya redaman oleh saluran udara 250 x 210 mm sepanjang 350 mm, antara elbow 90° pertama dengan percabangan terminal 6, Didapatkan dari tabel 3-4.

72. Menentukan tingkat daya bunyi pada percabangan terminal output 6, didapatkan dari baris 70 - 71.

73. Menentukan redaman pada saluran udara terminal output 6 (250 x 70 mm) karena perbedaan luas penampang.

Prosentase luas :  $(250 \times 70) / (250 \times 210) \times 100\% = 33,3\%$

Dari tabel 3-2 didapat harga redaman sebesar 5 dB.

74. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara terminal output 6, didapatkan dari baris 72 - 73.

75. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 250 x 210 mm, setelah cabang terminal output 6.

a. Strouhal Number ( $St$ ) =  $\frac{5 \times 10,8}{1987} f = 0,027 f$

Nilai  $St$  ditulis pada baris 1 tabel 4-8 untuk masing-masing pita oktaf.

- Kecepatan udara dalam saluran udara 250 x 210 mm :

$$V_1 = 21,2 / (0,25 \times 0,21) = 403,8 \text{ m/min} = 1325 \text{ fpm}$$

$$A_1 = (0,25 \times 0,21) / 0,0929 = 0,6 \text{ sq ft}$$

- Kecepatan udara dalam saluran udara 250 x 70 mm :

$$V_2 = 10,6 / (0,25 \times 0,07) = 605,7 \text{ m/min} = 1987 \text{ fpm}$$

$$A_2 = (0,25 \times 0,097) / 0,0929 = 0,2 \text{ sq ft}$$

b. Spectrum function  $F$  untuk saluran cabang terminal output 6, didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan harga  $St$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 0,2 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 2 tabel 4-10.



- c. Spectrum function F untuk saluran udara 250 x 210 mm, didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan harga  $S_t$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 0,6 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 3 tabel 4-10
- d. Velocity function G, didapatkan dari gb.3.7 dengan memasukkan harga  $V_z = 1325$  fpm dan  $V_s = 1987$  fpm. Hasilnya ditulis pada baris 4 tabel 4-10.
- e. Correction function H, didapatkan dari tabel 3-8 dan hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-10.
- f. Tingkat daya bunyi yang dibangkitkan saluran udara terminal 6, didapatkan dari penjumlahan baris 2,4 dan 5. Hasilnya ditulis pada baris 6 tabel 4-10.
- g. Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 250 x 210 mm, didapatkan dari penjumlahan baris 3,4 dan 5.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	1,7	3,4	6,8	135	27	54	108	216
2	Spectrum function N	58	52	44	38	32	25	16	6
3	Spectrum function F untuk cabang	63	57	48	43	36	29	20	11
4	Spectrum function F saluran utama	63	57	48	43	36	29	20	11
5	Velocity function	3	3	3	3	3	3	3	3
6	Correction function H	16	19	22	25	28	31	34	37
7	Lv oleh cabang	77	74	69	66	30	59	53	46
8	Lv oleh saluran udara 250x150 mm	82	79	74	71	67	63	57	51

Tabel 4.10 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan percabangan

Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 250 x 210 mm seperti pada baris 7 tabel 4-10, ditulis

pada baris 75 tabel 4-17.

76. Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara terminal output 6, didapatkan dari tabel 4-10 baris 6.

77. Menentukan total tingkat daya bunyi pada terminal output 6 (250 x 70 mm), didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 74 dengan baris 76.

78. Menentukan total tingkat daya bunyi pada saluran udara 250 x 210 mm, didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 72 dengan 75.

79. Menentukan besar redaman pada elbow 90° kedua 250 x 210 mm, didapatkan dari tabel 3-5.

80. Menentukan tingkat daya bunyi setelah elbpw 90° kedua 250 x 210 mm, didapatkan dari baris 78 - 79.

81. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° kedua 250 x 250 mm :

a. Strouhal Number ( $St$ ) =  $\frac{5 D}{V} f = \frac{5 \times 10,18}{1325} f = 0,038 f$

Nilai  $St$  untuk masing-masing pita oktaf ditulis pada baris 1 tabel 4-11.

b. Spectrum function  $F$  didapat dari gb.3.3 untuk setiap nilai  $St$  pada baris 1. Hasilnya ditulis pada baris 2 tabel 4-11.

c. Velocity function  $G$ , dari gb.3.6 didapatkan dengan memasukkan nilai  $V = 1325$  fpm dan luas aliran = 0,6 sq ft. Hasilnya -26 dB untuk setiap pita oktaf dan ditulis pada baris 3 tabel 4-11.

d. Correction function  $H$ , didapatkan dari tabel 3-8 untuk setiap pita oktaf dan ditulis pada baris 4



tabel 4-11.

- e. Tingkat daya bunyi pita oktaf yang dihasilkan oleh elbow  $90^\circ$ , didapat dengan menjumlahkan nilai pada baris 2,3 dan 4 tabel 4-11. Hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-11.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	2,4	4,8	9,5	19	38	76	152	304
2	Spectrum function F (dari gb.3.3)	64	45	38	35	32	28	25	20
3	Velocity function g (dari gb.3.6)	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26
4	Correction functi on H (tabel 3-7)	16	19	22	25	28	31	34	37
5	L <sub>w</sub> oleh elbow $90^\circ$ (F + G + H) dB	54	38	34	34	34	33	33	31

Tabel 4-11 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow  $90^\circ$

82. Menentukan total tingkat daya bunyi setelah elbow  $90^\circ$  kedua 250 x 210 mm, didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 80 dengan baris 81.
83. Menentukan besarnya redaman oleh saluran udara 250 x 250 mm sepanjang 1200 mm, antara elbow  $90^\circ$  kedua dengan percabangan saluran udara terminal output 7. Didapatkan dari tabel 3-4.
84. Menentukan tingkat daya bunyi pada percabangan terminal output 7, didapatkan dari baris 82 - 83.
85. Menentukan redaman pada saluran udara terminal output 7 (250 x 70 mm) karena perbedaan luas penampang.

Prosentase luas :  $(259 \times 70) / (250 \times 210) \times 100\% = 33,3\%$

Dari tabel 3-2 didapatkan harga redaman sebesar 5 dB.

86. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara terminal output 7 (250 x 70 mm), didapatkan dari baris 84 - 85.

87. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 250 x 210 mm setelah cabang terminal output 7 :

a. Strouhal Number ( $St$ ) =  $\frac{5 \times 10,18}{1325} f = 0,038 f$

Nilai  $St$  ditulis pada baris 1 tabel 4-12 untuk masing-masing pita oktaf.

- Kecepatan udara dalam saluran udara 250 x 210 mm :

$$V_1 = 10,6 / (0,25 \times 0,21) = 201,9 \text{ m/min} = 662 \text{ fpm}$$

$$A_1 = (0,25 \times 0,21) / 0,0929 = 0,6 \text{ sq ft}$$

- Kecepatan udara dalam saluran udara 250 x 70 mm :

$$V_2 = 10,6 / (0,25 \times 0,07) = 605,7 \text{ m/min} = 1987 \text{ fpm}$$

$$A_2 = (0,25 \times 0,07) / 0,0929 = 0,2 \text{ sq ft}$$

b. Spectrum function F untuk saluran cabang terminal output 7, didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan harga  $St$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 0,2 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 2 tabel 4-12.

c. Spectrum function F untuk saluran udara 250 x 210 mm, didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan harga  $St$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 0,6 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 3 tabel 4-12.

d. Velocity function G, didapatkan dari gb.3.7 dengan memasukkan harga  $V_2 = 662 \text{ fpm}$  dan  $V_3 = 1987 \text{ fpm}$ . Hasilnya ditulis pada baris 4 tabel 4-12.



- e. Correction function H, didapatkan dari tabel 3-7 dan hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-12.
- f. Tingkat daya bunyi yang dibangkitkan saluran udara terminal 7, didapatkan dari penjumlahan baris 2,4 dan 5. Hasilnya ditulis pada baris 6 tabel 4-12.
- g. Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 250 x 210 mm, didapatkan dari penjumlahan baris 3,4 dan 5. Hasilnya ditulis pada baris 7 tabel 4-12.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	2,4	4,8	9,5	19	38	76	152	304
2	Spectrum function F untuk cabang	55	47	42	35	29	21	12	4
3	Spectrum function F saluran utama	60	52	46	40	34	25	17	7
4	Velocity function	3	3	3	3	3	3	3	3
5	Correction functi on H	16	19	22	25	28	31	34	37
6	L <sub>w</sub> oleh cabang	74	69	67	63	60	55	49	44
7	L <sub>w</sub> oleh saluran udara 250x150 mm	79	74	71	68	65	59	54	47

Tabel 4-12 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan percabangan

Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara 250 x 210 mm seperti ditulis pada baris 7 tabel 4-12, ditulis pada baris 87 tabel 4-17.

88. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara terminal output 7 (250 x 70 mm), didapat dari baris 6 tabel 4-12.

89. Menentukan total tingkat daya bunyi pada saluran udara

terminal output 7, didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 86 dengan baris 88.

90. Menentukan total tingkat daya bunyi pada saluran udara 250 x 210 mm setelah cabang terminal 7. Didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 84 dengan baris 87.

91. Menentukan besarnya redaman oleh elbow 90° ketiga 250 x 210 mm. Didapatkan dari tabel 3-5.

92. Menentukan tingkat daya bunyi setelah elbow 90° ketiga 250 x 210 mm. Didapatkan dari baris 90 - 91.

93. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90°

a. Kecepatan udara dalam saluran udara 250 x 210 mm

$$V = 10,6 / (0,25 \times 0,21) = 201,9 \text{ m/min} = 662 \text{ fpm}$$

$$A = (0,25 \times 0,21) / 0,0929 = 0,6 \text{ sq ft}$$

Diameter ekivalen saluran udara (D) :

$$D = (4/\pi \times 250 \times 210)^{0,5} = 258,5 \text{ mm} = 10,18 \text{ inchi}$$

$$\text{Strouhal Number } (St) = \frac{5 D}{V} f = \frac{5 \times 10,18}{662} f = 0,079 f$$

Nilai  $St$  untuk masing-masing pita oktaf ditulis pada baris 1 tabel 4-13.

b. Spectrum function  $F$  didapat dari gb.3.3 untuk setiap nilai  $St$  pada baris 1. Hasilnya ditulis pada baris 2 tabel 4-13.

c. Velocity function  $G$ , dari gb.3.6 didapatkan dengan memasukkan nilai  $V = 662 \text{ fpm}$  dan luas aliran = 0,6 sq ft. Hasilnya -40 dB untuk setiap pita oktaf dan ditulis pada baris 3 tabel 4-13.

d. Correction function  $H$ , didapatkan dari tabel 3-8 untuk setiap pita oktaf dan ditulis pada baris 4



tabel 4-13.

- e. Tingkat daya bunyi pita oktaf yang dihasilkan oleh elbow 90°, didapat dengan menjumlahkan nilai pada baris 2,3 dan 4 tabel 4-13. Hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-13.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	4,9	9,6	193	385	77	154	308	304
2	Spectrum function F (dari gb.3.3)	45	39	35	32	28	25	20	5
3	Velocity function g (dari gb.3.6)	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
4	Correction functi on H (tabel 3-7)	16	19	22	25	28	31	34	37
5	Lv oleh elbow 90° (F + G + H) dB	21	18	17	17	16	16	14	2

Tabel 4-13 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90°

94. Menentukan total tingkat daya bunyi setelah elbow 90° ketiga, didapat dengan penjumlahan logaritmik baris 92 dengan baris 93.
95. Menentukan besarnya redaman oleh saluran udara 250 x 210 mm sepanjang 1625 mm, antara elbow 90° keempat 250 x 210 mm. Didapatkan dari tabel 3-4.
96. Menentukan redaman oleh elbow 90° keempat, didapatkan dari tabel 3-5.
97. Menentukan tingkat daya bunyi setelah elbow 90° keempat 250 x 210 mm. Didapatkan dari baris 94 - (baris 95 + 96), hasilnya ditulis pada baris 97 tabel 4-17.

98. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° keempat 250 x 210 mm, sama dengan langkah 93 karena parameternya sama.
99. Menentukan total tingkat daya bunyi setelah elbow 90° keempat 250 x 210 mm. Didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 97 dengan baris 98.
100. Menentukan besar redaman oleh saluran udara 250 x 210 mm sepanjang 1000 mm, antara elbow 90° keempat dan percabangan saluran udara terminal output 8. Didapatkan dari tabel 3-4.
101. Menentukan besar redaman pada saluran udara terminal output 8 karena perbedaan luas penampang.  
Prosentase luas :  $(250 \times 79)/(250 \times 210) \times 100\% = 33,3\%$   
Dari tabel 3-2 didapat harga redaman sebesar 5 dB.
102. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara terminal output 8 (250 x 70). Didapatkan dari baris 99 - (baris 100 + 101).
103. Menentukan besar redaman oleh saluran udara 250 x 250 mm sepanjang 2650 mm, antara percabangan empat saluran udara dengan elbow 90° pertama 250 x 250 mm. Didapatkan dari tabel 3-4.
104. Menentukan tingkat daya bunyi masuk elbow 90° pertama 250 x 250 mm, didapat dari baris 34 - 103.
105. Menentukan besar redaman pada elbow 90° pertama 250 x 250 mm, didapatkan dari tabel 3-5.
106. Menentukan tingkat daya bunyi setelah elbow 90° pertama, didapatkan dari baris 104 - 105.



107. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° pertama 250 x 250 mm :

a. Kecepatan udara dalam saluran udara 250 x 250 mm

$$V = 37,5 / (0,25 \times 0,25) = 600 \text{ m/min} = 1968 \text{ fpm}$$

$$A = (0,25 \times 0,25) / 0,0929 = 0,7 \text{ sq ft}$$

Diameter ekivalen saluran udara (D) :

$$D = (4/\pi \times 250 \times 250)^{0,5} = 282 \text{ mm} = 10,10 \text{ inchi}$$

$$\text{Strouhal Number (St)} = \frac{5 D}{V} f = \frac{5 \times 10,10}{1968} f = 0,028 f$$

Nilai St untuk masing-masing pita oktaf ditulis pada baris 1 tabel 4-14.

b. Spectrum function F didapat dari gb.3.3 untuk setiap nilai St pada baris 1. Hasilnya ditulis pada baris 2 tabel 4-14.

c. Velocity function G, dari gb.3.6 didapatkan dengan memasukkan nilai V = 1968 fpm dan luas aliran = 0,7 sq ft. Hasilnya -17 dB untuk setiap pita oktaf dan ditulis pada baris 3 tabel 4-14.

d. Correction function H, didapatkan dari tabel 3-8 untuk setiap pita oktaf dan ditulis pada baris 4 tabel 4-14.

e. Tingkat daya bunyi pita oktaf yang dihasilkan oleh elbow 90°, didapat dengan menjumlahkan nilai pada baris 2,3 dan 4 tabel 4-14. Hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-14.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	1,8	3,5	7	14	28	56	112	224
2	Spectrum function F (dari gb.3.3)	59	50	41	37	34	30	27	22
3	Velocity function g (dari gb.3.6)	-17	-17	-17	-17	-17	-17	-17	-17
4	Correction functi on H (tabel 3-7)	16	19	22	25	28	31	34	37
5	Lv oleh elbow 90° (F + G + H) dB	58	52	46	45	45	44	44	42

Tabel 4-14 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90°

108. Menentukan total tingkat daya bunyi setelah elbow 90° pertama 250 x 250 mm, didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 106 dengan baris 107.
109. Menentukan besar redaman oleh elbow 90° kedua 250 x 250 mm, didapatkan dari tabel 3-5.
110. Menentukan tingkat daya bunyi setelah elbow 90° kedua 250 x 250 mm, didapatkan dari baris 108 - 109.
111. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° kedua 250 x 250 mm, sama dengan langkah No :107 karena parameteranya sama.
112. Menentukan total tingkat daya bunyi setelah elbow 90° kedua 250 x 250 mm, didapat dengan penjumlahan logaritmik baris 110 dengan baris 111.
113. Menentukan besar redaman oleh saluran udara 250 x 250 mm sepanjang 534 mm, antara elbow 90° kedua dengan



terminal output 9. Didapat dari tabel 3-4.

114. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara terminal output 9, didapatkan dari baris 112 - 113.

115. Menentukan besar redaman oleh saluran udara 400 x 310 mm sepanjang 2125 mm, antara percabangan empat saluran udara dan elbow 90° 400 x 310 mm. Didapat dari tabel 3-4, hasilnya ditulis pada baris 115 tabel 4-17.

116. Menentukan besar redaman elbow 90° 400 x 310 mm, didapatkan dari tabel 3-5.

117. Menentukan tingkat daya bunyi setelah elbow 90° 50 x 250 mm, didapatkan dari baris 32 - (baris 115 + 116).

118. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 90° 500 x 250 mm :

a. Kecepatan udara dalam saluran udara 250 x 250 mm

$$V = 75 / (0,40 \times 0,31) = 604,8 \text{ m/min} = 1984 \text{ fpm}$$

$$A = (0,40 \times 0,31) / 0,0929 = 1,33 \text{ sq ft}$$

Diameter ekivalen saluran udara (D) :

$$D = (4/\pi \times 400 \times 310)^{0,5} = 397,3 \text{ mm} = 15,64 \text{ inchi}$$

$$\text{Strouhal Number } (St) = \frac{5 D}{V} f = \frac{5 \times 15,64}{1984} f = 0,0394f$$

Nilai St untuk masing-masing pita oktaf ditulis pada baris 1 tabel 4-15.

b. Spectrum function F didapat dari gb.3.3 untuk setiap nilai St pada baris 1. Hasilnya ditulis pada baris 2 tabel 4-15.

c. Velocity function G, dari gb.3.6 didapatkan dengan memasukkan nilai V = 1984 fpm dan luas aliran = 1,33 sq ft. Hasilnya -14 dB untuk setiap pita oktaf dan

ditulis pada baris 3 tabel 4-15.

d. Correction function H didapatkan dari gb.3-8 dan hasilnya ditulis pada baris 4 tabel 4-15.

e. Tingkat daya bunyi pita oktaf yang dihasilkan oleh elbow 90°, didapat dengan menjumlahkan nilai pada baris 2,3 dan 4 tabel 4-15. Hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-15.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	1,8	3,5	7	14	28	56	112	224
2	Spectrum function F (dari gb.3.3)	59	50	41	37	34	30	27	22
3	Velocity function g (dari gb.3.6)	-17	-17	-17	-17	-17	-17	-17	-17
4	Correction functi on H (tabel 3-7)	16	19	22	25	28	31	34	37
5	Lv oleh elbow 90° (F + G + H) dB	58	52	46	45	45	44	44	42

Tabel 4-15 Tingkat daya bunyi yang dibangkitakan elbow 90°

119. Menentukan total tingkat daya bunyi setelah elbow 90°, didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 117 dengan baris 118.

120. Menentukan besar redaman oleh saluran udara 500 x 250 mm sepanjang 2000 mm, antara elbow 90° dengan percabangan dua saluran udara. Didapatkan dari tabel 3-4 dan ditulis pada baris 120 tabel 4-17.

121. Menentukan redaman pada saluran udara cabang kiri 250 x 250 mm karena perbedaan luas penampang.



Prosentase luas :  $(250 \times 250) / (500 \times 250) \times 100\% = 50\%$

Dari tabel 3-2 didapatkan harga redaman sebesar 3 dB.

122. Menentukan besar redaman pada saluran udara cabang kanan 250 x 250 mm karena perbedaan luas penampang. Identik dengan langkah 121.

123. Menentukan tingkat daya bunyi pada cabang saluran udara 250 x 250 mm kiri, didapatkan dari baris 119 - (baris 120 + 121).

124. Menentukan tingkat daya bunyi pada cabang saluran udara kanan, didapatkan dari baris 119 - (baris 120 + 122).

125. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan cabang saluran udara 250 x 250 mm kiri.

a. Diameter ekivalen  $D = (4/\pi \times 500 \times 250)^{0.5} = 15,7$  in  
Kecepatan udara dalam saluran udara 500 x 250 mm :

$$V_1 = 75 / (0,5 \times 0,5) = 600 \text{ m/min} = 1968 \text{ fpm}$$

$$\text{Strouhal Number } (St) = \frac{5 \times 15,70}{1968} f = 0,039 f$$

Nilai St ditulis pada baris 1 tabel 4-16 untuk masing-masing pita oktaf.

- Kecepatan udara dalam saluran udara 250 x 250 mm :

$$V = 37,5 / (0,25 \times 0,25) = 600 \text{ m/min} = 1968 \text{ fpm}$$

$$A = (0,25 \times 0,25) / 0,0929 = 0,7 \text{ sq ft}$$

b. Spectrum function F untuk saluran udara 250 x 250 mm kiri, didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan harga St seperti pada baris 1 dan luas aliran = 0,7 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 2 tabel 4-16.

c. Spectrum function F untuk saluran udara 250 x 250 mm kanan, didapatkan dari gb.3.5 dengan memasukkan

- harga  $S_v$  seperti pada baris 1 dan luas aliran = 0,7 sq ft. Hasilnya ditulis pada baris 3 tabel 4-16.
- d. Velocity function G, didapatkan dari gb.3.7 dengan memasukkan harga  $V_2 = 1968$  fpm dan  $V_3 = 1968$  fpm. Hasilnya ditulis pada baris 4 tabel 4-16.
- e. Correction function H, didapatkan dari tabel 3-8 dan hasilnya ditulis pada baris 5 tabel 4-16.
- f. Tingkat daya bunyi yang dibangkitkan saluran udara kiri, didapatkan dari penjumlahan baris 2,4 dan 5. Hasilnya ditulis pada baris 6 tabel 4-16.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Strouhal Number	2,5	4,9	9,8	195	39	78	156	312
2	Spectrum function F untuk cabang	60	53	47	41	34	26	18	8
3	Spectrum function F saluran utama	60	53	47	41	34	26	18	8
4	Velocity function	3	3	3	3	3	3	3	3
5	Correction functi on H	16	19	22	25	28	31	34	37
6	Lv oleh slr kiri	79	77	72	69	65	60	55	48
7	Lv oleh saluran udara kanan	79	77	72	69	65	60	55	48

Tabel 4-16 Tingkat daya bunyi yang dihasilkan percabangan

- g. Tingkat daya bunyi yang dihasilkan saluran udara kanan, didapatkan dari penjumlahan baris 3,4 dan 5. Hasilnya ditulis pada baris 7 tabel 4-16.
126. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan cabang



saluran udara 250 x 250 mm kanan, didapatkan dari baris 7 tabel 4-16.

127. Menentukan total tingkat daya bunyi pada saluran udara 250 x 250 mm kiri, didapatkan dari penjumlahan logaritmik baris 124 dengan baris 125.

128. Menentukan total tingkat daya bunyi pada cabang saluran udara 250 x 250 mm kanan, didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 124 dengan baris 126.

129. Menentukan besar redaman oleh elbow 250 x 250 mm saluran udara kiri, didapatkan dari tabel 3-5.

130. Menentukan tingkat daya bunyi setelah elbow 250 x 250 mm saluran udara kiri, didapatkan dari baris 128 - 129.

131. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 250 x 250 mm saluran udara kiri. Sama dengan langkah 107 karena parameternya sama.

132. Menentukan total tingkat daya bunyi setelah elbow 250 x 250 mm saluran udara kiri (saluran udara terminal output 10). Didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 130 dengan baris 131.

133. Menentukan besar redaman oleh saluran udara 250 x 250 mm cabang kanan sepanjang 1375 mm, antara percabangan saluran udara dan elbow 250 x 250 mm saluran udara kanan. Didapatkan dari tabel 3-4.

134. Menentukan besar redaman pada elbow 250 x 250 mm, didapatkan dari tabel 3-5.

135. Menentukan tingkat daya bunyi setelah elbow 250 x 250 mm saluran udara kanan, didapatkan dari baris 128 -

(baris 133 + 134).

136. Menentukan tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow 250 x 250 cabang saluran udara kanan. Sama dengan langkah 107 karena parameteranya sama.

137. Menentukan total tingkat daya bunyi setelah elbow 250 x 250 mm cabang saluran udara kanan. Didapatkan dengan penjumlahan logaritmik baris 135 dengan baris 136,

138. Menentukan besarnya redaman oleh saluran udara 250 x 250 mm sepanjang 500 mm, antara elbow dan terminal output 11. Didapatkan dari tabel 3-4.

139. Menentukan tingkat daya bunyi pada saluran udara terminal output 11. Didapatkan dari baris 137 - 138.

Tabel 4-17 Perhitungan tingkat daya bunyi pada saluran udara

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Lv yang diradisi kan outlet fan	83	84	97	89	87	86	80	78
2	Redaman oleh duc ting 750x400mm se panjang 1150 mm	0,7	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
3	Redaman oleh el bow 90°. Tabel 4-2	1	3	7	6	4	3	3	3
4	Lv setelah elbow	81	80	90	83	83	83	77	75
5	Lv oleh elbow 90° Tabel 4-2	65	61	57	56	56	56	56	53
6	Lv total setelah elbow 90°	81	80	90	83	83	83	77	75



7	Redaman oleh ducting 750x400mm sepanjang 450 mm	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
8	Lv di cabang keluaran 250x150 mm	81	80	90	83	83	83	77	75
9	Redaman dari saluran 250x150 mm	8	8	8	8	8	8	8	8
10	Redaman dari ducting 700x400 mm	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Lv pada ducting 250x150 mm	73	72	82	75	75	75	69	67
12	Lv pada ducting 700x400 mm	81	80	90	83	83	83	77	75
13	Lv oleh ducting 250x150mm Tab. 4-3	75	70	68	65	61	56	50	44
14	Lv oleh ducting 700x400 mm Tb. 4-3	82	77	74	71	67	61	56	50
15	Lv total pada keluaran 250x150 mm	77	74	82	75	75	75	69	67
16	Lv total pada ducting 700x400 mm	83	82	90	83	83	83	77	75
17	Redaman oleh ducting 700x400mm sepanjang 4775 mm	2,9	2,9	1,4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
18	Lv di percabangan ducting	80	79	89	82	82	82	76	74
19	Redaman dari ducting 600x250 mm	3	3	3	3	3	3	3	3
20	Redaman dari ducting 400x310 mm	4	4	4	4	4	4	4	4
21	Redaman dari ducting 255x150 mm	8	8	8	8	8	8	8	8
22	Redaman dari ducting 250x250 mm	7	7	7	7	7	7	7	7
23	Lv pada ducting 600x250 mm	77	76	86	79	79	79	73	71
24	Lv pada ducting 400x310 mm	76	75	85	78	78	78	72	70

25	Lv pada ducting 250x150 mm	72	71	81	74	74	74	68	66
26	Lv pada ducting 250x250 mm	73	72	82	75	75	75	69	67
27	Lv oleh ducting 600x250 mm. Tb 4-4	82	77	74	69	67	61	56	50
28	Lv oleh ducting 400x310 mm. Tb 4-4	81	76	73	68	66	60	55	49
29	Lv oleh ducting 250x150 mm. Tb 4-4	75	70	67	62	60	54	49	43
30	Lv oleh ducting 250x250 mm. Tb 4-4	77	72	69	64	62	56	51	45
31	Lv total pada duc ting 600x250 mm	83	80	86	79	79	79	73	71
32	Lv total pada duc ting 400x310 mm	82	79	85	78	78	78	72	70
33	Lv total pada duc ting 250x150 mm	77	74	81	74	74	74	68	66
34	Lv total pada duc ting 250x250 mm	78	75	82	75	75	75	69	67
35	Redaman oleh duc ting 250x150 mm sepanjang 334 mm	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
36	Lv pada keluaran 250x150 mm	77	74	81	74	74	74	68	66
37	Redaman oleh duc ting 600x250 mm sepanjang 1400 mm	0,8	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
38	Redaman oleh duc ting 300x250 mm	3	3	3	3	3	3	3	3
39	Redaman oleh el bow 90°	0	0	1	4	6	6	4	3
40	Lv setelah elbow 90° 300x250 mm	79	76	82	72	70	70	66	65
41	Lv oleh elbow 90° Tabel 4-5	58	53	48	47	47	47	47	46
42	Lv total setelah elbow 90°	79	76	82	72	70	70	66	65
43	Redaman oleh duc ting 230x290 mm	1	1	1	1	1	1	1	1



44	Redaman oleh ducting 250x150 mm	3	3	3	3	3	3	3	3
45	Lv pada ducting 230x290 mm	78	75	81	71	69	69	65	64
46	Lv pada ducting 250x150 mm	76	73	79	69	67	67	63	62
47	Lv oleh ducting 230x290 mm. Tb 4-6	73	69	65	63	59	54	49	44
48	Lv oleh ducting 250x150 mm	71	67	63	61	57	52	47	41
49	Lv total pada keluaran 230x290 mm	79	76	81	72	69	69	65	64
50	Lv total pada ducting 250x150 mm	77	74	79	70	67	67	63	62
51	Redaman oleh ducting 250x150 mm 3485 mm	2,1	2,1	1,6	1	1	1	1	1
52	Lv pada keluaran 250x150 mm	75	72	77	69	66	66	62	61
53	Redaman oleh ducting 300x250 mm	3	3	3	3	3	3	3	3
54	Redaman oleh elbow 90° 300x250 mm	0	0	1	4	6	6	4	3
55	Lv setelah elbow 90° 300x250 mm	79	76	82	72	70	70	66	65
56	Lv oleh elbow 90° Tabel 4-7	62	55	50	48	48	47	47	46
57	Lv total setelah elbow 90°	79	76	82	72	70	70	66	65
58	Redaman oleh ducting 230x290 mm	1	1	1	1	1	1	1	1
59	Redaman oleh ducting 250x210 mm	2	2	2	2	2	2	2	2
60	Lv pada ducting 230x290 mm	78	75	81	71	69	69	65	64
61	Lv pada ducting 250x210 mm	77	74	81	70	68	68	64	63
62	Lv oleh ducting 230x290 mm. Tb. 4-9	75	72	67	64	60	56	51	44

63	Lv oleh ducting 250x210 mm. Tb 4-6	73	70	65	62	58	54	49	42
64	Lv total pada ke luaran 230x290 mm	80	78	81	72	70	69	65	64
65	Lv total pada duc ting 250x210 mm	78	75	80	71	68	68	64	63
66	Redaman oleh duc ting 250x210 mm sepanjang 2455 mm	1,4	1,4	1,1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
67	Redaman oleh el bov 90° 250x210mm	0	0	1	4	6	6	4	3
68	Lv setelah elbow 90° 250x210 mm	77	74	78	66	61	61	59	59
69	Lv oleh elbow 90° Tabel 4-9	58	51	46	44	44	43	43	42
70	Lv total setelah elbow 90°	77	74	78	66	61	61	59	59
71	Redaman oleh duc ting 250x210 mm sepanjang 350 mm	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
72	Lv pada percaba ngan keluaran	77	74	78	66	61	61	59	59
73	Redaman pada duc ting 250x70 mm	5	5	5	5	5	5	5	5
74	Lv pada keluaran 250x70 mm	72	69	73	61	56	56	54	54
75	Lv oleh ducting 250x210mm. Tb 4-10	82	79	74	71	67	63	57	51
76	Lv oleh ducting 250x70 mm. Tb 4-10	77	74	69	66	63	59	53	46
77	Lv total pada ke luaran 250x70 mm	78	75	74	67	64	61	56	55
78	Lv total pada duc ting 250x210 mm	83	80	79	72	68	65	61	60
79	Redaman oleh el bov 90°	0	0	1	4	6	6	4	3
80	Lv setelah elbow 90° 250x210 mm	83	80	78	68	62	59	57	57
81	Lv oleh elbow 90° Tabel 4-11	54	38	34	34	34	33	33	31



82	Lv total setelah elbow 90°	83	80	78	68	62	59	57	57
83	Redaman oleh ducting 250x210mm sepanjang 1200 mm	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
84	Lv pada percobaan keluaran PL2	82	79	77	68	62	59	57	57
85	Redaman oleh ducting 250x70 mm	5	5	5	5	5	5	5	5
86	Lv pada keluaran 250x70 mm	77	74	72	63	57	54	52	52
87	Lv oleh ducting 250x210mm. Tb 4-12	79	74	71	68	65	59	54	47
88	Lv oleh ducting 250x70 mm. Tb 4-12	74	69	67	63	60	55	49	44
89	Lv total pada ke luaran 250x70 mm	79	75	73	66	62	58	55	53
90	Lv pada ducting 250x210 mm	84	80	78	71	67	63	59	57
91	Redaman oleh elbow 90° 250x210mm	0	0	1	4	6	6	4	3
92	Lv setelah elbow 90° 250x210 mm	84	80	77	67	61	57	55	54
93	Lv oleh elbow 90° Tabel 4-13	21	18	17	17	16	16	14	2
94	Lv setelah elbow 90°	84	80	77	67	61	57	55	54
95	Redaman oleh ducting 250x210 mm sepanjang 1625 mm	1	1	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
96	Redaman oleh elbow 90°	0	0	1	4	6	6	4	3
97	Lv setelah elbow 90° 250x210 mm	83	79	75	62	54	50	50	50
98	Lv oleh elbow 90° Tabel 4-13	21	18	17	17	16	16	14	2
99	Lv total setelah elbow 90°	83	79	75	62	54	50	50	50
100	Redaman oleh ducting 250x210 mm sepanjang 1000 mm	0,6	0,6	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

101	Redaman oleh ducting 250x70 mm	5	5	5	5	5	5	5	5
102	Lv pada keluaran 250x70 mm	77	73	69	67	49	45	45	45
103	Redaman oleh ducting 250x250 mm sepanjang 2650 mm	1,6	1,6	1,2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
104	Lv masuk percobaan 250x250 mm	76	73	81	74	74	74	68	66
105	Redaman oleh elbow 90° 250x250 mm	0	0	1	4	6	6	4	3
106	Lv setelah elbow 90° 250x250 mm	76	73	80	70	68	68	64	63
107	Lv oleh elbow 90° 250x250 mm	58	52	46	45	45	44	44	42
108	Lv total setelah elbow 90°	76	73	80	70	68	68	64	63
109	Redaman oleh elbow 90°	0	0	1	4	6	6	4	3
110	Lv setelah elbow 90° 250x250 mm	76	73	79	66	62	62	60	60
111	Lv oleh elbow 90° Tabel 4-14	58	52	46	45	45	44	44	42
112	Lv total setelah elbow 90°	76	73	79	66	62	62	60	60
113	Redaman oleh ducting 250x250 mm sepanjang 534 mm	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
114	Lv pada keluaran 250x250 mm	76	73	79	66	62	62	60	60
115	Redaman oleh ducting 400x310 mm sepanjang 2125 mm	1,3	1,3	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
116	Redaman oleh elbow 90°	0	0	1	4	6	6	4	3
117	Lv setelah elbow 90°	81	78	80	72	72	74	69	67
118	Lv oleh elbow 90° Tabel 4-15	56	50	48	46	46	45	45	43
119	Lv total setelah elbow 90°	81	78	80	72	72	74	69	67



120	Redaman oleh ducting 500x250 mm sepanjang 2000 mm	1,2	1,2	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
121	Redaman oleh ducting 250x250 mm	3	3	3	3	3	3	3	3
122	Redaman oleh ducting 250x250 mm (kanan)	3	3	3	3	3	3	3	3
123	Lv pada ducting 250x250 mm kiri	77	74	76	69	69	71	66	64
124	Lv pada ducting 250x250 mm kanan	77	74	76	69	69	71	66	64
125	Lv oleh ducting 250x250 mm (kiri) Tabel 4-16	79	77	72	69	65	60	55	48
126	Lv oleh ducting 250x250mm (kanan) Tabel 4-16	79	77	72	69	65	60	55	48
127	Lv total ducting 250x250 mm kiri	81	79	77	72	70	71	66	64
128	Lv total ducting 250x250 mm kanan	81	79	77	72	70	71	66	64
129	Redaman oleh elbow 250x250 mm	0	0	1	4	6	6	4	3
130	Lv setelah elbow 250x250 mm kiri	81	79	76	68	64	65	62	61
131	Lv oleh elbow Tabel 4-14	58	52	46	45	45	44	44	42
132	Lv total setelah elbow 250x250 mm (keluaran)	81	79	76	68	64	65	62	61
133	Redaman oleh ducting 250x250 mm sepanjang 1975 mm	0,8	0,8	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
134	Redaman oleh elbow 250x250 mm	0	0	1	4	6	6	4	3
135	Lv setelah elbow	80	78	75	68	64	65	62	61
136	Lv oleh elbow Tabel 4-14	58	52	46	45	45	44	44	42

137	Lv total setelah elbow 250x250 mm	80	78	75	68	64	65	62	61
138	Redaman oleh ducting 250x250 mm sepanjang 500 mm	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
139	Lv pada keluaran 250x250 mm	80	78	75	68	64	65	62	61

140. Menentukan kerugian refleksi akhir pada saluran udara keluaran (terminal output). Didapatkan dari tabel 3-7 untuk :

- Ukuran saluran udara keluaran 250 x 70 mm :

17 dB, 14 dB, 8 dB, 4 dB, 0 dB, 0 dB, 0 dB, 0 dB, untuk masing-masing pita oktaf.

- Ukuran saluran udara keluaran 250 x 250 mm, 250 x 150 mm, dan 230 x 290 mm :

14 dB, 8 dB, 4 dB, 1 dB, 0 dB, 0 dB, 0 dB, 0 dB, untuk masing-masing pita oktaf.

141. Harga tingkat daya bunyi keluar saluran udara keluaran adalah harga tingkat daya bunyi masuk saluran keluaran dikurangi kerugian refleksi akhir.

Harga tingkat daya bunyi masuk saluran udara keluaran, didapatkan dari tabel 4-17.

- Tingkat daya bunyi keluar saluran udara keluaran 1 (250 x 150 mm) :



No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Lv masuk saluran keluaran 1 (dB)	77	74	82	75	75	75	69	67
2	Kerugian refleksi akhir (dB)	12	8	4	1	0	0	0	0
3	Lv keluar saluran keluaran 1 (dB)	65	66	78	74	75	75	69	67

Dengan cara yang sama didapat tingkat daya bunyi untuk saluran udara keluaran yang lain seperti tabel di bawah.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Lv keluar saluran keluaran 2 (dB)	65	66	77	73	74	74	68	66
2	Lv keluar saluran keluaran 3 (dB)	67	68	77	71	69	69	65	64
3	Lv keluar saluran keluaran 4 (dB)	63	64	73	68	66	66	62	61
4	Lv keluar saluran keluaran 5 (dB)	68	70	77	71	70	69	65	64
5	Lv keluar saluran keluaran 6 (dB)	61	63	66	63	63	61	56	55
6	Lv keluar saluran keluaran 7 (dB)	62	63	65	62	61	58	55	53
7	Lv keluar saluran keluaran 8 (dB)	60	61	61	63	48	45	45	45
8	Lv keluar saluran keluaran 9 (dB)	64	65	75	65	62	62	60	60
9	Lv keluar saluran keluaran 10 (dB)	69	71	72	67	64	65	62	61
10	Lv keluar saluran keluaran 11 (dB)	68	70	71	67	64	65	62	61

Tabel 4-18 Tingkat daya bunyi keluar saluran keluaran

#### 4.3.2 Kebisingan Saluran Udara Starboard Kamar Mesin

Untuk menghitung tingkat daya bunyi yang diradiasikan keluar oleh keluaran udara (terminal output) pada sistem saluran udara starboard, dilakukan dengan cara yang sama seperti perhitungan pada portside.

Tingkat daya bunyi yang diradiasikan keluar tiap-tiap keluaran udara pada sistem saluran udara starboard, ditulis dalam tabel 4-19 di bawah.

No	Uraian	frekuensi center pita oktaf (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	L <sub>w</sub> keluar saluran keluaran 1 (dB)	64	71	88	83	82	81	75	73
2	L <sub>w</sub> keluar saluran keluaran 2 (dB)	63	67	83	79	78	77	71	69
3	L <sub>w</sub> keluar saluran keluaran 3 (dB)	55	62	81	74	71	70	66	65
4	L <sub>w</sub> keluar saluran keluaran 4 (dB)	62	63	76	73	74	74	68	66
5	L <sub>w</sub> keluar saluran keluaran 5 (dB)	63	63	74	69	68	68	64	63
6	L <sub>w</sub> keluar saluran keluaran 6 (dB)	61	61	73	67	64	64	62	61
7	L <sub>w</sub> keluar saluran keluaran 7 (dB)	66	67	68	65	64	64	60	58
8	L <sub>w</sub> keluar saluran keluaran 8 (dB)	64	68	70	70	69	69	65	60
9	L <sub>w</sub> keluar saluran keluaran 9 (dB)	67	69	69	66	63	63	59	57

Tabel 4-19 Tingkat daya bunyi keluar saluran udara starboard



## KESIMPULAN

Dari hasil uraian dan pembahasan pada bab-bab di depan, tentang tingkat daya bunyi sistem ventilasi udara kamar mesin KM CARAKA JAYA III, maka dapat disimpulkan :

1. Tingkat daya bunyi yang dihasilkan fan tergantung pada type fan, tekanan total, kapasitas udara, putaran fan dan jumlah daun fan.
2. Dalam sistem ventilasi udara, tingkat daya bunyi yang dihasilkan fan merupakan sumber bunyi masukan dalam sistem saluran udara.
3. Pada percabangan saluran udara, besarnya tingkat daya bunyi yang ditransmisikan pada tiap-tiap cabang saluran udara, tergantung dari prosentase luas penampang saluran udara cabang terhadap luas penampang saluran udara utama.
4. Percabangan saluran udara membangkitkan tingkat daya bunyi, yang besarnya tergantung pada dimensi saluran udara, kecepatan dan kapasitas udara yang melintasi percabangan.
5. Karakteristik kebisingan pada elbow (bengkokan) saluran udara, yaitu :  
pada sisi aliran masuk elbow akan bersifat meredam / mengurangi tingkat daya bunyi dan pada sisi aliran keluar akan menghasilkan bunyi.

6. Besarnya redaman tingkat daya bunyi dari elbow saluran udara tergantung pada dimensi elbow.
7. Besarnya tingkat daya bunyi yang dihasilkan elbow, tergantung dari ukuran, kecepatan dan kapasitas udara yang melewati elbow.
8. Besarnya tingkat daya bunyi yang dihasilkan fan pada sistem ventilasi udara kamar mesin KM CARAKA JAYA III, didapat dengan penjumlahan logaritmik nilai pada baris 5 tabel 4-1, hasilnya 97 dB.
9. Besarnya tingkat daya bunyi yang diradiasikan keluar melalui tiap-tiap keluaran udara (terminal output) sistem saluran udara port side, didapat dengan penjumlahan logaritmik nilai pada tiap-tiap baris tabel 4-18.
10. Besarnya tingkat daya bunyi yang diradiasikan keluar melalui tiap-tiap keluaran udara (terminal output) sistem saluran udara star board, didapat dengan penjumlahan logaritmik nilai pada tiap-tiap baris tabel 4-19.
11. Menurut standar OSHA untuk tingkat kebisingan fan 97 dB, diijinkan kerja terus menerus di daerah sekitar fan selama 3 jam 02 menit (tanpa perlindungan telinga).

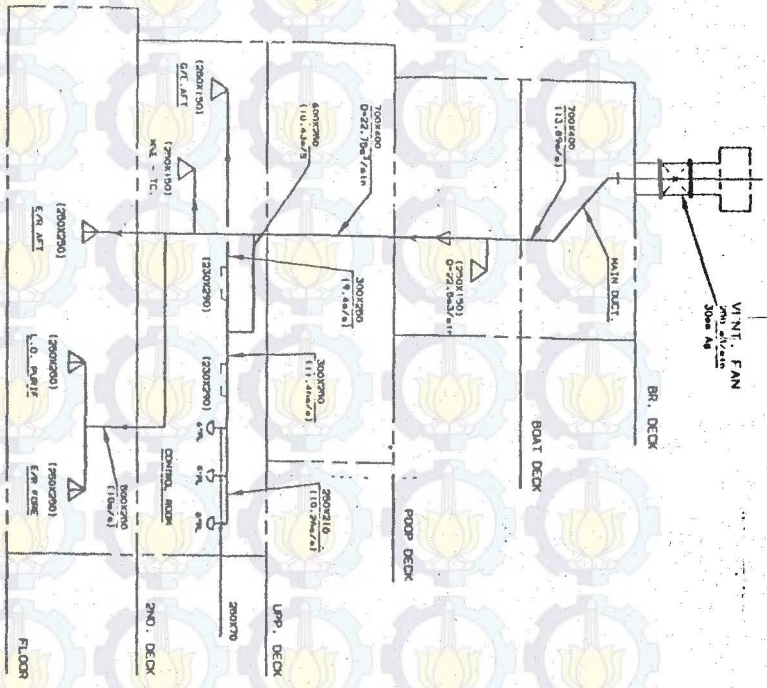




## DAFTAR PUSTAKA

1. Cyril M. Harris, Ph.D., Handbook of Noise Control, Mc Graw-Hill Book Company.
2. L.L. Faulkner, Ph.D., Handbook of Industrial Noise Control, Industrial Press Inc.
3. D.Mc. Cloy, Ph.D. and Martin, Ph.D., Control of Fluid Power, John Wiley & Sons, N.Y.- Chichester.
4. Fans and Blowers for Marine Use, Kubota Kogyo Co, LTD.
5. Wiranto Arismunandar, Penyegaran Udara, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta.

VENT. DIAGRAM (P. SIDE)



PORT. SIDE

SIMBL.	NAME	DIMENSION	CAPACITY m³/s	QUANTITY	TOTAL CAP.ITY m³/s
△	DAMPER	200 x 100	22.0	3	66.0
△	DAMPER	200 x 200	37.8	3	112.6
△	SHUTTER	230 x 290	19.1	2	38.2
△	SHUTTER	43" x 10.6	10.6	3	31.8
					200.0

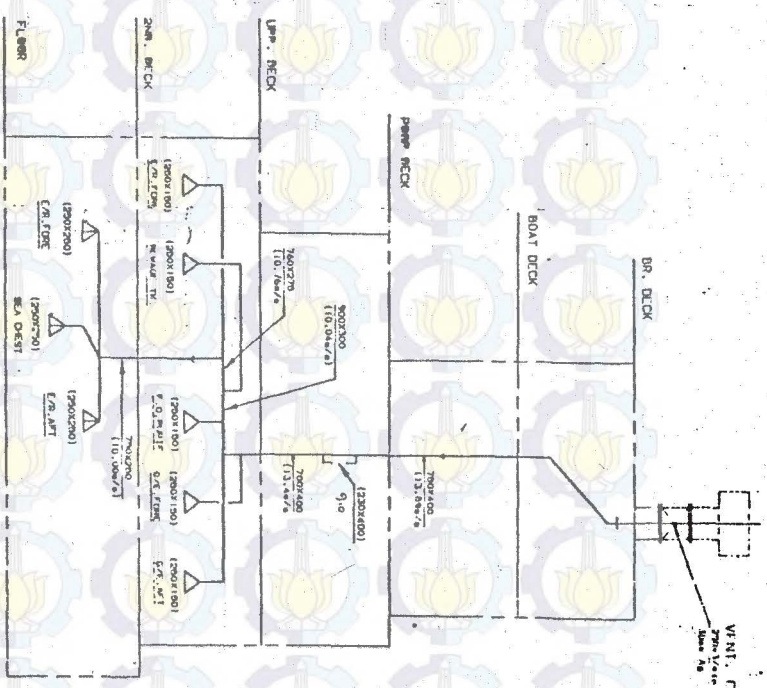
NOTE : ROOM AIR SPEED AT TERMINAL 8 - 10 m/s

STBD. SIDE

SIMBL.	NAME	DIMENSION	CAPACITY m³/s	QUANTITY	TOTAL CAP.ITY m³/s
△	DAMPER	200 x 100	22.0	0	112.6
△	DAMPER	200 x 200	37.8	3	112.6
△	SHUTTER	230 x 290	19.1	1	38.0
					200.0

NOTE : ROOM AIR SPEED AT TERMINAL 8 - 10 m/s

VENT. DIAGRAM (S. SIDE)



YEAR	1991	PRODUCT NAME	CARAKA JAYA III - 4	PROJECT NO.	098
DRAWN	3/7/1991	DESIGNED NAME			
CHECKED	3/7/1991				
ENGINEER	3/7/1991				
REVIEWER	3/7/1991				

ALL RIGHTS RESERVED  
RE PROHIBIT & P.M. INDONESIA

PROJECTION SYMBOL

**PT. CARAKA JAYA**  
INDONESIA

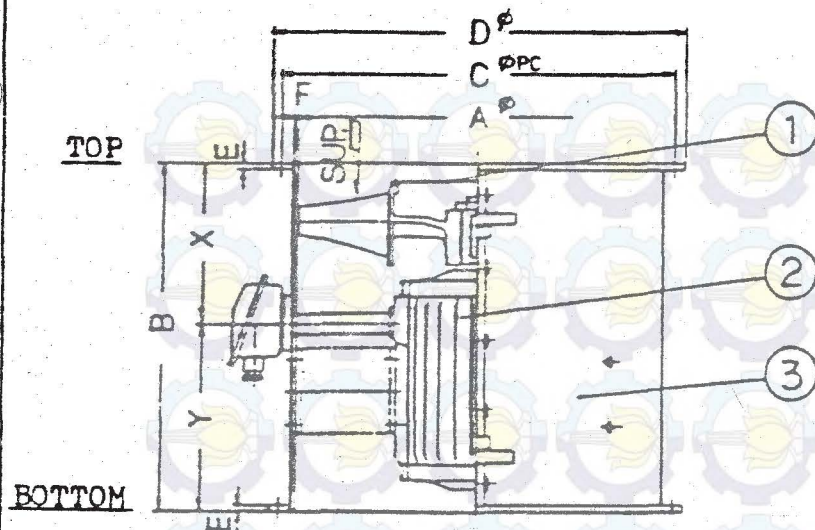
DIAGRAM OF VENTILATION  
SYSTEM IN ENGINE ROOM

SCALE : 1:12

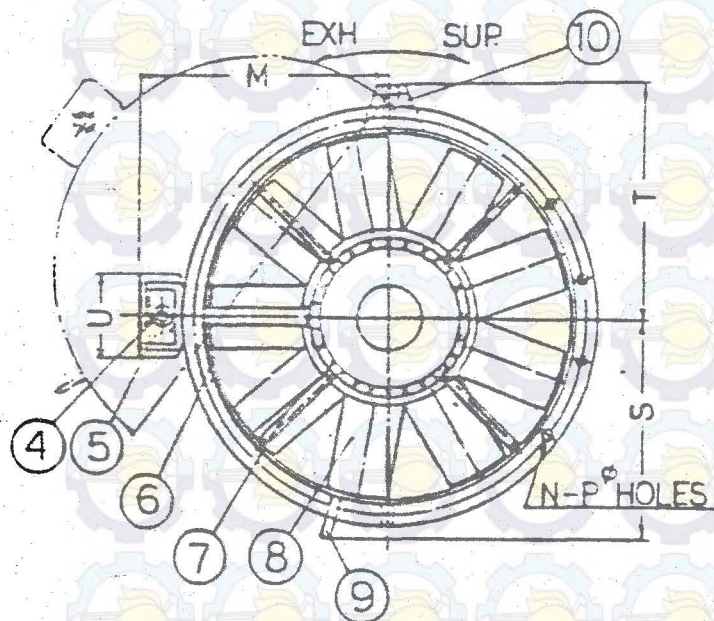
SHEET : 07

PROJECT NO : 5171000



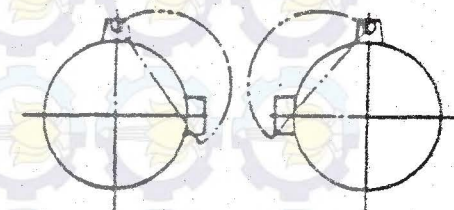


MODEL	A	B	C	D	E	F	G	H	P	M	S	T	U	V	W	Y	WEIGHT
FA-B-45-1	450	350	510	547	9	4.5	12	15	330	275	315	135	185	165			66 Kg
FA-B-45-2	450	350	510	547	9	4.5	12	15	330	275	315	135	165	185			74
FA-B-45-4	450	350	510	547	9	4.5	12	15	330	275	315	135	185	165			69
FA-B-50-1	500	400	560	597	9	4.5	12	15	355	300	340	135	210	190			77
FA-B-50-2	500	400	560	597	9	4.5	12	15	355	300	340	135	210	190			87
FA-B-55-1	550	400	610	647	9	4.5	12	15	380	320	380	135	195	205			94
FA-B-55-2	550	400	610	647	9	4.5	12	15	380	320	380	135	195	205			104
FA-B-60-1	600	400	660	697	9	4.5	12	15	405	345	405	135	195	205			108
FA-B-65-1	650	400	710	747	9	4.5	16	15	430	370	430	135	195	205			114
FA-B-70-1	700	430	760	797	9	4.5	16	15	455	390	455	135	210	220			135
FA-B-75-2	750	500	820	859	12	4.5	16	19	480	410	490	135	255	245			184
FA-B-80-2	800	500	870	909	12	4.5	16	19	505	435	515	135	255	245			191
FA-B-80-3	800	500	870	909	12	4.5	16	19	505	435	515	135	255	245			191



NO	NAME OF PARTS	MATERIAL
1	FRONT COVER	ALUMI PLATE A2PI
2	MOTOR	
3	FAN CASING	MILD STEEL SS41
4	TIGHT GLAND	CARBON STEEL S25C
5	TERMINAL BOX	CAST IRON FC20
6	LEAD PIPE	GAS PIPE SQP
7	MOTOR HOLDER	<del>CAST IRON FC20</del> MILD STEEL SS41
8	FAN(RUNNER)	ALUMI. CAST. AC4A
9	HANDLE	MILD STEEL SS41
10	HINGE	MILD STEEL SS41

FOR PORT (NO.2) FOR STBD(NO.1)



LOOKING FROM "BOTTOM"

VOLUME 300 m<sup>3</sup>/min

PRESSURE 30 mmAq

DWA/I

3 RD ANGLE PROJECTION	UNIT	CHKD. E. UCHIDA	AXIAL FLOW FAN OUT LINE VIEW
SCALE: /	DESIGN: H. ITO	DATE: 10/11/81	3M016-905
DATE: 10/11/81	TRACE	DRW. NO.	
TAIYO			



## 要 目 表

VOLTS 電 圧	380 V	CYCLES 周 波 数	50 Hz	STARTING METHOD 始 動 方 式	DIRECT	AMBIENT TEMP. 冷 媒 温 度	45 50°C	INSULATION 絶 縁	E or F	CLASS 種
NO. OF PHASES 相 数	3	RATING 定 格	CONT.	STARTING TORQUE 始 動 トルク	125%	RULE OF INSPECT 検 査 規 格	BKI	PAINT 塗 装 色	7.5BG7/2	


No.	U S E	NO. OF SETS	FAN SPEC. (通風機仕様)						MOTOR SPEC. (電動機仕様)								REMARKS
			AIR QUANT.	STATIC PRESS.	FLOWING AIR	OUTLINE 外 形 図		MODEL	TYPE	OUTPUT	NO. OF POLES	AMP.S	r.p.m	GLAND	CABLE	BEARING NO.	
項	用 途	台数	風 量 m³/min	静 圧 mmAq	風 方 向	DRAW. NO 図 番	PAGE 頁	わく番号	形式	出 力 kW	極数	電 流 A	回 転 数	グランド	ケーブル	軸受番号	備考
1	NO.1,2 ENG RM VENT FAN	2	300	30	S,REV	3M016-905	1	FA-B-80-2	V	3.7	4	8.5	1410	25b x1	TPYCY 2x1	6306 SEALED	
																SEALED	
																SEALED	
																SEALED	
																SEALED	
																SEALED	
																SEALED	
																SEALED	
																SEALED	

ABBREVIATIONS 略語	S: SUPPLY (供給)	DISTINGUISHING COLOURS 区別色分け	U: RED (赤)
H: HORIZONTAL (水平)	E: EXHAUST (排気)		V: WHITE (白)
V: VERTICAL (垂直)	REV: REVERSIBLE (可逆)		W: BLUE (青)
CHIEF	K. UCHIDA	DESIGN	TRACE
CHECK		DATE	NO.



**TAIYO**  
ELECTRIC MFG. CO. LTD.



 <b>INDONESIA</b>		<b>PETUNJUK PENGUJIAN / PEMERIKSAAN</b> <b>UNTUK BANGUNAN KAPAL BARU</b>		PROYEK : Project
<b>SUB ASS.QA.BID.KANIA</b>		<b>TEST INSTRUCTION FOR NEW BUILDING</b>		<b>CARAKA JAYA</b> <b>III-3</b>
D. KAPAL Ip No.	<b>096</b>	NO. ARSIP : File No.	<b>0341/4620/95</b>	HAL : Page
				<b>6</b> dari <b>6</b> from

**PERENCANAAN VENTILASI MEKANIS**  
**Design Of Mechanical Ventilation**

**T A B E L**

SYSTEM	DECK	LOCATION TERMINAL	GRID/PL AREA m2	VELO CITY- m/s	AIR VOLUME m3/min	TOTAL CAP m3/min
SUPPLY FAN STBD. SIDE	UNDER POOP DK.	FR.16	0,046	9,05	25	250
		FR.9-10	0,0375	10	22,5	
		FR.15-16	0,0375	10	22,5	
	UNDER UPP. DK.	FR.19-20	0,0375	10	22,5	
		FR.22-23	0,0375	10	22,5	
		FR.29-30	0,0375	10	22,5	
		FR.18-19	0,0625	10	37,5	
	UNDER 2ND DK.	FR.25-26	0,0625	10	37,5	
		FR.29-30	0,0625	10	37,5	



**PERENCANAAN VENTILASI MEKANIS**  
**Design of Mechanical Ventilation**

**T A B E L**

SYSTEM	DECK	TERMINAL LOCATION	GRID/PL AREA m2	VELO CITY- m/s	AIR VOLUME m3/min	TOTAL CAP m3/min
SUPPLY FAN PORT SIDE	UNDER BOAT DK.	FR.19-20	0,0375	10	22,5	250
		FR.10-11	0,0375	10	22,5	
		FR.18-19	0,0375	10	22,5	
		FR.24-25	0,0182	9,70	10,6	
	UNDER UPP. DK.	FR.27-28	0,0182	9,70	10,6	
		FR.30-31	0,0182	9,70	10,6	
		FR.17-18	0,033	9,65	19,1	
		FR.20-21	0,033	9,65	19,1	
	UNDER 2ND DK.	FR.18-19	0,0625	10	37,5	
		FR.22-23	0,0625	10	37,5	
		FR.28-29	0,0625	10	37,5	